

JUN 16 1960

FISH & WILDLIFE SERVICE

INTER - AMERICAN TROPICAL TUNA COMMISSION
COMISION INTERAMERICANA DEL ATUN TROPICAL

Bulletin — Boletín
Vol. IV, No. 4

**THE PHYSICAL OCEANOGRAPHY OF THE GULF OF NICOYA,
COSTA RICA, A TROPICAL ESTUARY**

**LA OCEANOGRAFIA FISICA DEL GOLFO DE
NICOYA, COSTA RICA,
UN ESTUARIO TROPICAL**

by — por

CLIFFORD L. PETERSON

La Jolla, California

1960



INTER - AMERICAN TROPICAL TUNA COMMISSION
COMISION INTERAMERICANA DEL ATUN TROPICAL

Bulletin — Boletín
Vol. IV, No. 4

**THE PHYSICAL OCEANOGRAPHY OF THE GULF OF NICOYA,
COSTA RICA, A TROPICAL ESTUARY**

**LA OCEANOGRAFIA FISICA DEL GOLFO DE
NICOYA, COSTA RICA,
UN ESTUARIO TROPICAL**

by — por

CLIFFORD L. PETERSON

La Jolla, California

1960

CONTENTS — INDICE

ENGLISH VERSION — VERSION EN INGLES

	Page
SUMMARY.....	139
ACKNOWLEDGEMENTS.....	140
INTRODUCTION.....	140
Objective.....	140
Collection and treatment of data.....	141
Geography.....	142
Climatology.....	143
Contributions of fresh water.....	143
Tides.....	144
DESCRIPTION OF THE HYDROGRAPHIC DATA.....	144
Salinity.....	144
Seasonal distribution.....	145
Geographic distribution.....	145
Temperature.....	145
Seasonal distribution.....	146
Geographic distribution.....	146
Oxygen.....	147
Density.....	147
DISCUSSION.....	147
Circulation.....	149
Mixing.....	151
Classification as an estuary.....	151
RELATIONSHIP OF THE GULF OF NICOYA TO OFFSHORE WATERS.....	151
1954 anomaly.....	152
<i>Estropic</i> and Nicoya data, 1955.....	153
HEAT BUDGET OF THE GULF.....	153
Data.....	154
Radiation from sun and sky absorbed by the sea (Q_s).....	155
Effective back radiation (Q_b).....	155
Evaporation (Q_e).....	156
Conduction of sensible heat to the atmosphere (Q_h).....	157
Total heat transfer across the air-sea boundary.....	157
Advection (Q_v).....	158
APPENDIX.....	158
The relation of the hydrography to the anchoveta.....	158

FIGURES — FIGURAS.....	160
------------------------	-----

TABLES — TABLAS.....	176
----------------------	-----

SPANISH VERSION — VERSION EN ESPAÑOL

	Página
SUMARIO.....	191
RECONOCIMIENTO.....	192
INTRODUCCION.....	192
Objetivo.....	192
Recolección y proceso de los datos.....	193
Geografía.....	193
Climatología.....	194
Contribuciones de agua dulce.....	195
Mareas.....	196
DESCRIPCION DE LOS DATOS HIDROGRAFICOS.....	196
Salinidad.....	196
Distribución estacional.....	198
Distribución geográfica.....	198
Temperatura.....	198
Distribución estacional.....	198
Distribución geográfica.....	199
Oxígeno.....	199
Densidad.....	200
EXPOSICION.....	200
Circulación.....	200
Mezcla.....	202
Clasificación como un estuario.....	204
RELACION DEL GOLFO DE NICOYA CON LAS AGUAS DE MAR AFUERA.....	205
La anomalía de 1954.....	205
Datos <i>Estropic</i> y Nicoya, 1955.....	207
BALANCE DE CALOR DEL GOLFO.....	207
Los datos.....	208
Radiación solar y celeste absorbida por el mar (Q_s).....	208
Radiación efectiva devuelta (Q_b).....	209
Evaporación (Q_e).....	210
Conducción de calor sensible hacia la atmósfera (Q_h).....	211
Transferencia total de calor a través del límite aire-mar.....	211
Advección (Q_v).....	212
APENDICE.....	213
Relación de la hidrografía con la anchoveta.....	213

LITERATURE CITED — BIBLIOGRAFIA CITADA.....	215
---	-----

THE PHYSICAL OCEANOGRAPHY OF THE GULF OF NICOYA, COSTA RICA, A TROPICAL ESTUARY

by

Clifford L. Peterson

SUMMARY

Distributions of salinity, temperature, and oxygen in the Gulf of Nicoya based on approximately bimonthly surveys between the period March 1952 to December 1957 have been examined.

The Gulf of Nicoya may be regarded as an estuarine system in which the dynamic structure is principally controlled by salinity variations. During the rainy season, runoff in the upper reaches of the Gulf forms a seaward surface flow which must be compensated by a replenishment of saline water from below in order to maintain the salinity distribution. The entrained water is replaced by means of an up-inlet flow at deeper levels, of relatively more saline water.

The salinity structures observed during the year can be classified under two main groups, corresponding to the rainy and dry seasons. During the rainy season the Gulf is highly stratified and the horizontal gradient is strongly developed. With the decline of runoff at the end of the rainy season, winds and tides destroy the highly stratified salinity structure characteristic of the rainy season, resulting in an essentially oceanic salinity structure.

The seasonal changes in the temperature structure of the Gulf closely follow those of salinity; that is, stratification is negligible during the dry season but highly developed in the rainy season.

The minimum temperature at all depths is reached in October or November, in phase with the period of minimum air temperature, whereas the period when the water column is warmest lags a month or so after the period of highest air temperature (April). The seasonal variation in the mean temperature of the water column rarely exceeds 3°C.

The seasonal distribution of dissolved oxygen is similar to that of temperature and salinity; that is, the oxygen concentration gradient is marked in the rainy season and negligible in the dry season.

An analysis of the heat budget was made to determine whether or not the temperature changes in the Gulf could be explained entirely in terms of heat exchanges with the atmosphere. The data indicate that the sea is continuously gaining more heat from the atmosphere than it is losing to the latter, so that, in order that the heat balance be maintained, there is

indicated an advection of warm water from the Gulf to the sea. Since the data show that advection of warm water from the Gulf is at a maximum during the rainy season, it is proposed that this loss of heat is largely due to the seaward flow of warm brackish water during this season.

ACKNOWLEDGEMENTS

Meteorological data used in this report were obtained through the courtesy of Pan American World Airways and of the Costa Rican Meteorological Service. The Costa Rican Department of Agriculture and Industries provided river discharge data.

The author is likewise indebted to Dr. Robert S. Arthur and Mr. Gunnar I. Roden of the Scripps Institution of Oceanography, and to Mr. Martin J. Pollak, Mr. Edward B. Bennett, and Mr. Raymond C. Griffiths of the Inter-American Tropical Tuna Commission, who read the manuscript critically and offered many helpful suggestions.

Acknowledgement is also given to Mr. Hernán Sobrado H. and the other staff members of the Inter-American Tropical Tuna Commission's laboratory in Costa Rica who collected many of the data.

INTRODUCTION

Objective

In February 1952, the Inter-American Tropical Tuna Commission established a laboratory at Puntarenas, Costa Rica, a seaport on the Gulf of Nicoya, in order to investigate the decline and apparent disappearance of the population of anchovetas (*Cetengraulis mysticetus*) in that area, to carry out studies of the life history and ecology of other species useful as tuna bait, and to collect hydrographic data for the purpose of measuring variations in the environment from season to season and year to year. The latter phase of the investigation is the subject of this report.

A careful review of the literature showed that, with the exception of some surface temperature and surface salinity data published by the United States Coast and Geodetic Survey (1954, 1956), nothing has been published concerning the oceanography of the Gulf of Nicoya. As Watts (1958) points out, there is a surprising lack of literature on the hydrology of tropical estuaries. It is hoped that other investigators of such estuaries may find this paper helpful.

Collection and treatment of data

The hydrographic observations included in this study were made between March 1952 and December 1957. During 1952 and most of 1953, the hydrographic stations were occupied at approximately monthly intervals, and thereafter at approximately bi-monthly intervals (Table 1).

Originally, eight stations, spaced from the head of the Gulf to the mouth (Figure 1), were occupied on each survey. In September 1952, a

ninth station just south of the 100-fathom depth contour was added. Following September 1953, the hydrographic surveys were limited to Stations 1, 4, 5, 7 and 8.

Except for the first few surveys, water samples were taken at each station by lowering Nansen bottles to depths of 0, 5, 10, 15, 20, 25, 35, 45, 55, 65, 90, 115, 165, and 200 meters, depending on the depth of the bottom at each station. All water samples were analyzed for salinity, but dissolved oxygen determinations were not begun until December 1956. The sea surface temperatures were obtained by a bucket thermometer and subsurface temperatures were recorded by a bathythermograph which was checked by a reversing thermometer.

The analysis of the salinity and dissolved oxygen of the water samples was performed ashore by the Knudsen and Winkler methods, respectively.

Meteorological data were obtained from Pan American World Airways and the Costa Rican Meteorological Service, both of which maintain weather stations in the area of the Gulf of Nicoya.

The Tempisque River discharge data were provided by the Costa Rican Department of Agriculture and Industries.

Geography

The Gulf of Nicoya is situated on the Pacific Coast of Costa Rica at approximately Latitude 10°N . and Longitude 85°W . The general features of the Gulf are shown in Figure 1.

The Gulf is 52 miles long, penetrating the land first in a northerly and then in a northwesterly direction. It is 34 miles wide at the mouth, narrowing to $5\frac{1}{2}$ miles at the port of Puntarenas and then expanding, with an average width of eight miles, to the head. The northern half of the Gulf is shallow with depths of two to five fathoms, while depths in the outer Gulf progressively increase in a southerly direction, from 10 to 100 fathoms. In the narrow channel between San Lucas Island and the Puntarenas Peninsula there is a short trough approximately 25 fathoms deep.

The bottom of the Gulf between Chira Island and Bejuco Island is an extensive mud flat covered by one to three fathoms of water at mean low tide. The mud on the flats is several feet deep and easily stirred up by tidal currents. Areas such as Ballena Bay, Barranca Bay, and the mouth of the Rio Tempisque have sandy bottoms, and the area east of the Negritos Islands, for example, has a rocky bottom. The distribution of bottom types is shown in Figure 1.

Nearly the entire shoreline of the inner Gulf north of Puntarenas is dissected with sinuous, shallow sloughs with dense growths of mangroves. The shoreline of the outer Gulf is mostly rugged, with numerous bluffs and rocky headlands.

The western shore of the Gulf is formed by the Nicoya Peninsula, a range of forested hills 300 to 2500 feet high. From the head of the Gulf northward the terrain rises gently through low rolling hills towards the Nicaraguan border. The eastern shore of the Gulf slopes gradually up to the long mountain range which dominates the topography of central Costa Rica.

Climatology

The Azores high pressure cell is probably the most important climatic control of Central America (United States Hydrographic Office, 1948). The intensification and northward movement of the Azores High in the summer and its lessened strength and southward movement in the winter bring about changes in the structure of the trade winds which influence and determine the general seasonal characteristics of the climate.

During the winter, when the Azores High is in its southernmost position, the entire Central American region is in the northeast trade wind belt, but the high mountain range in central Costa Rica largely shuts out these winds along the Pacific Coast. The wind regime in the Gulf of Nicoya area during the winter is dominated by the Papagayo northerlies and, to a lesser extent, by the land and sea breezes. The Papagayo winds blow from one half to four or five days at a time, often reaching gale velocities.

During the summer months, Costa Rica lies within the tropical low pressure zone, or doldrums, and the prevalent northerly winds of winter are replaced by predominantly southwesterly winds.

Mean monthly wind velocities recorded at Puntarenas by Pan American World Airways for the years 1953 to 1955 are shown in Table 2.

In general, a dry season prevails from December through April, the period when Costa Rica is within the northeasterly trade wind belt, owing to a temperature inversion which acts as a lid on convection and limits the heights to which the cumulus storm clouds can build (United States Hydrographic Office, 1948).

The rainy season, extending from April or May through November, occurs during the period when Costa Rica lies in the belt of equatorial calms between the trade wind zones of the two hemispheres. There usually is, in the Gulf of Nicoya, a period of less intense rainfall in the middle of the rainy season, which is due to the brief intensification of the Azores High during July and August. Much of the intense rainfall is caused by local convective activity, but some of the rain in September and possibly October may be due to the influence of the southeast trades (United States Hydrographic Office, 1948).

A discussion of relative humidity, air temperature, and cloud cover is presented in connection with the heat budget study (page 153) and these

data for the years 1953 to 1955 are shown in Table 2. Seasonal changes of these properties may be summarized by saying that, during the dry season, the air temperature is high, relative humidity is low, and there is very little cloud cover; during the rainy season, the opposite conditions prevail.

Contributions of fresh water

The principal rivers entering the Gulf are the Rio Tempisque, at the head of the Gulf, and the Rio Barranca and the Rio Grande on the eastern shore, southeast of Puntarenas (Figure 1). A number of smaller streams and creeks also discharge into the Gulf. Discharge figures are available only for the Rio Tempisque, but it is likely that the other streams have a similar runoff pattern. The discharge of the Rio Tempisque closely follows the seasonal regime of precipitation (Figure 3). The rivers quickly respond to rainfall over a very short period of time. Creeks and smaller rivers change from being nearly dry to a flood condition within an hour or two and subside nearly as rapidly as they rise.

Precipitation on the Gulf surface must also be taken into account. Taking the area of the Gulf to be about 450 square nautical miles, the direct precipitation can be expressed as:

$$P = 15,750 \, r \text{ cubic feet/second}$$

where r is the rainfall in inches per day. For example, during October 13, 1955 when 7.9 inches of rain fell, the direct precipitation on the Gulf surface is estimated as 124,425 ft.³/sec. Since the average daily rate of precipitation at Puntarenas for the months of May through October is about 0.36 inches, the average amount of fresh water contributed to the Gulf during these months as a result of direct precipitation is estimated to be 5,670 ft.³/sec.

Tides

The flooding tidal current, on entering the Gulf, sets northeastward toward Caldera Point (Figure 1) and the mouth of the Rio Barranca, then sets westward following the curvature of the shoreline of Barranca Bay. The current increases in velocity (up to two knots) as it sets along the narrow peninsula towards Puntarenas and then decreases in velocity as it passes the port of Puntarenas. The sweep of the tide around the western end of the Puntarenas Peninsula and the associated decrease in velocity, probably account for the presence of several large, shifting sand bars of irregular shape just southwest of Puntarenas. The ebb tide sets in the reverse directions. The current velocity is particularly high through the narrow constriction formed by the Puntarenas Peninsula and San Lucas Island. Strong rip tides occur just east of the Negritos Islands, particularly during the ebb tide. At Puntarenas the mean tidal range is 7.5 feet, according to the United States Hydrographic Office (1951).

DESCRIPTION OF THE HYDROGRAPHIC DATA

Throughout the discussion that follows, it should be borne in mind that since the analyses are based on data gathered from a single line of stations spaced along the longitudinal axis of the Gulf, very little is known concerning the circulation, and the transverse distribution of salinity, temperature and oxygen.

Salinity

Seasonal distribution

The distribution of salinity in the Gulf in the dry season (December to April or May) differs from that in the wet season (May or June to November). Surface salinity is closely related to rainfall, reaching a maximum at the end of the dry season in April or May and falling to a minimum at the end of the rainy season in October or November (Figure 2). Salinity variations at the surface over short periods of time are much greater in the rainy season than during the dry season. In the rainy season the difference in surface salinity between the head and the mouth of the Gulf may be as large at 15 ‰ whereas in the dry season there may be no difference.

Typical salinity profiles for the dry season and rainy season are shown in Figure 4. During the dry season there is little or no horizontal gradient and only slight stratification. The salinity gradient normally ranges from about 33.0 ‰ at the surface to about 35.0 ‰ at the bottom. During the rainy season this salinity pattern is radically changed, particularly in the inner Gulf. At the surface a large horizontal salinity gradient prevails with the salinity increasing from the head, where the Rio Tempisque discharges, to the mouth, where the salinity of sea water is approximated. Salinity stratification also becomes very pronounced, especially in the upper 10 to 20 meters. Although the influence of fresh water beyond these depths is much less striking, its effects are detectable throughout most of the Gulf.

Figures 5 to 10 depict variations in the salinity structure at Station 4 from 1952 to 1957. Note again the intense stratification in the rainy season and the negligible stratification in the dry season. These Figures also illustrate the considerable year-to-year variations, especially in the rainy season. For example, compare the salinity distribution in June 1953 with that in June 1957, and that in November 1953 with that in November 1956. In contrast, the salinity structure from February to early May varies only slightly (from about 32 ‰ to 34 ‰) from year to year.

Apart from the chief differences between the wet and dry seasons, the data show that there is a much greater week-to-week variability in the salinity structure in the wet season than there is in the dry season, when the salinity structure is effectively constant.

Figures 11 to 13 illustrate the average seasonal T-S relationships at Stations 4, 5, and 8 for the years 1952 to 1957. Owing to the fact that oceanographic observations were taken only at approximately bimonthly intervals from September 1953 until the end of 1957, it was not possible to include data for every month of the year. Care must be taken in interpreting the significance of some of the smaller variations in the Figures. Even a six-year series of data is probably inadequate to represent average conditions for a given month, because of the large year-to-year variations and the large seasonal fluctuations in the salinity and temperature structure.

Apparently, salinity reaches a minimum in November or December and a maximum in May at all stations and all depths. The large salinity range of the surface waters and the degree to which salinity variations decrease with depth are also illustrated. At the 55-meter level at Station 8 for example, the average variation is only about 20% of the corresponding change at the five-meter level.

Geographic distribution

The Gulf of Nicoya may be divided into two zones on the basis of variations in the salinity structure during the rainy season. In the shallow waters northwest of Station 4, stratification extends all the way to the bottom whereas to the south of Station 4, the brackish water is underlain by more saline and less stratified offshore water (Figure 4).

During the dry season both vertical and horizontal stratification are greatly reduced, but since some runoff still occurs, the head of the Gulf is nearly always less saline than the remainder of the Gulf, as illustrated in Figure 4.

As mentioned above (page 144), there is a large horizontal gradient in salinity from the head to the mouth of the Gulf during the rainy season largely because of the discharge from the Rio Tempisque. However, this gradient is sometimes quite irregular because of the drainage water from two other rivers (the Rio Barranca and Rio Grande) entering approximately mid-way along the eastern shore of the Gulf. A case of such irregularity is illustrated in Figure 14 where the surface salinity at Station 7 was about 3 ‰ less than that of nearby stations. At the time these observations were made a large area of silty water was observed to extend from near the mouth of the Rio Grande to a position slightly west of Station 7.

Temperature

Seasonal distribution

The temperature distribution is more complex than that of salinity, but there is still a marked seasonal difference. Surface temperature at Puntarenas apparently reaches a maximum near the end of the dry season, as does surface salinity, and reaches a minimum at some time between

October and January (Figure 2). The temperature maximum, however, occurs each year about a month later than the salinity maximum.

Figures 5 to 10 illustrate the seasonal vertical distribution of temperature at Station 4. The seasonal changes in temperature structure closely follow those of salinity; that is, there is strong stratification during the rainy season but not during the dry season. Figure 15 shows that the well-developed temperature stratification at Station 4 (Figures 5 to 10), is present throughout the Gulf during the rainy season.

During the dry season the temperature gradient is considerably reduced in the upper 30 meters, particularly in the inner Gulf (Figure 15). However, the degree of stratification shown in this Figure does not always prevail throughout the dry season. In five out of the seven years included in this study, a nearly uniform temperature structure was observed in the upper 30 or 40 meters throughout the length of the Gulf (Figure 16), during at least one of the oceanographic surveys of the dry season. This situation usually occurred during the period December to February, the season of strong northerly winds (page 150). In subsequent months of the dry season, temperature stratification was re-established to some extent, as shown in Figure 15.

The T-S diagrams for Stations 4, 5 and 8 (Figures 11 to 13) illustrate the seasonal temperature pattern. Minimum temperatures occur in October or November at all stations and all depths. Temperatures reach a maximum in May in the upper 20 or 25 meters at all stations; at Station 8 the maximum temperature below the 25-meter level usually occurs in July.

Geographic distribution

The shallow, silty waters northwest of Puntarenas are generally warmer than water of equivalent depth to the south, in both the dry and rainy seasons (Figure 15). Surface temperatures as high as 32.5°C have been recorded in the shallow waters covering the Chira Flats, and the mean surface temperature from all observations made there from 1952 to 1957 is 29.5°C, about 1°C higher than the corresponding mean for surface water temperature in the outer Gulf.

Oxygen

Since observations of dissolved oxygen in the Gulf of Nicoya were not started until 1957, it is difficult to establish to what extent the oxygen data collected that year represent conditions in other years. However, since the salinity and temperature pattern for 1957 are similar to those of the period 1952 to 1956, it is assumed that the oxygen data for 1957 are also typical.

Figure 17 shows typical vertical distributions of dissolved oxygen in the dry season and rainy season. In general, the seasonal pattern is very similar to that of temperature and salinity (Figures 15 and 4); that is, the oxygen concentration gradient is marked in the rainy season and negligible

in the dry season. The oxygen concentration at the surface is greater in the rainy season than in the dry season, whereas at the bottom the oxygen concentration is greater in the dry season than in the rainy season. The oxygen concentration at the surface averages about 4.5 ml./L. which is approximately 100% saturation.

Density

In general, the density curves for the Gulf of Nicoya tend to follow those of salinity much more closely than they follow the temperature curves (see Figure 18 and Figures 5 to 10), particularly in the rainy season. It is also of interest to note that temperature changes and partially counteracts density changes due to seasonal salinity variations. That is, during the dry season when the Gulf is becoming more saline and thus tending toward greater density, the temperature is increasing thus tending to reduce the density. On the other hand, the Gulf becomes fresher and thus less dense during the rainy season but temperatures during this time of the year are lower and therefore tend to increase the density.

DISCUSSION

Circulation

Runoff can be regarded as one of the principal factors responsible for circulation in the Gulf of Nicoya during the rainy season. Fresh water discharge from the Rio Tempisque at the head of the Gulf, together with that from a number of smaller streams, and precipitation directly on the Gulf surface induce a surface seaward flow. Since it has been observed that there is a gradual increase of salinity in the surface layer from the head of the Gulf to the mouth, it is reasoned that there must be entrainment of water from below as the flow moves seaward. Therefore, in order that the salinity distribution be maintained, there is indicated a compensatory up-inlet flow of saline water from below.

No direct measurements of currents have been made in the Gulf to verify the circulation scheme proposed above but some evidence is found in the vertical distribution of salinity and temperature.

Figures 5 and 10 illustrate the seasonal vertical distribution of these properties at Station 4. The mean surface temperature at Station 4 in the dry season is about 1°C greater than it is in the wet season. At the 20-meter level at this station the mean temperature in the dry season is about 1.5°C greater than it is in the wet season, and at the 35-meter level this difference is 2.2°C. The greater difference at the 20-meter level and below, as compared with at the surface, is due to the fact that at peaks of rainfall in the wet season the temperatures below 20 meters, particularly near the bottom, are unusually low compared with either the dry season or periods of lesser rainfall in the wet season. Figure 9 illustrates this situation well. Although the lower air temperatures prevailing during the rainy season

may account for some of this cooling of the Gulf, they are not low enough to cause water temperatures of 23 -24 C. Another explanation for these cold bottom waters in the rainy season might be that the runoff is colder than the Gulf waters, and in mixing with saline water underneath, the runoff cools the entire water column. Measurements from the Rio Tempisque indicate that the temperature of the river water closely approximates that of the Gulf surface waters, that is they range from about 26° to 29 C, though river temperatures as low as 24.5 -25 C are sometimes noted during periods of heavy runoff. However, even this heavy runoff cannot account for temperatures of 22.5 -24.0 C as observed at Station 4. For example, during November 1956, the minimum temperature recorded on the Rio Tempisque was 25.5 C, whereas nearly all of the lower half (about 25 meters) of the water column at Station 4 on November 15, was 23°C or colder (Figure 9).

The most likely explanation of the low temperatures observed at Station 4 during the rainy season is that colder, saline water replaces water entrained into the surface seaward flow.

The salinity distribution at Station 4 further substantiates the latter explanation. In most years, (Figures 5 to 10) the period of most intense salinity stratification is accompanied by unusually saline water near the bottom. This condition is especially reflected in the 1952 data. Since the only source of additional salt is that from deeper waters to the south, the source of the unusually saline water present at depth at Station 4 during the rainy season, must be saline water moving north in response to the entrainment process.

The oxygen data, although not evidence *per se*, are not contradictory to the circulation scheme proposed above (page 147). Figure 17, illustrating the distribution of dissolved oxygen in both seasons, shows that the oxygen distribution during the rainy season is characterized by lower oxygen values near the bottom. One might expect lower oxygen values near the bottom if there were an up-inlet flow of deeper water from the south during the rainy season, but on the other hand it may be argued that these low values occur because the replenishment of oxygen in the deeper water of Station 4 is hindered by the strong density stratification prevailing during the rainy season.

The unusually cold, saline water present near the bottom at Station 4 during the rainy season (see above) is rarely found at comparable depths at other stations in the Gulf during the same season. The reason for this difference may be that Station 4 is located at a deep hole (about 50 meters deep) in the narrow channel between Puntarenas and San Lucas Island (Figure 1). Possibly, the up-inlet flow of cold saline water during the rainy season spills into the depression at Station 4 and thus more easily retains its characteristics. Another possible explanation is that the up-inlet flow may not follow the track of the established stations but

may enter the Gulf along the path of the incoming tide which follows the east shore.

No direct studies have been made of the relationship between tidal oscillations and the proposed circulation scheme in the Gulf of Nicoya. Certainly the most obvious water movements are related to the tidal motion. Tidal currents from 1 to $2\frac{1}{2}$ knots occur along the Puntarenas Peninsula, the passage between Puntarenas and San Lucas Island, and near the Negritos Islands. Even during the rainy season, when the net seaward flow is at a maximum, it has been observed that the surface waters over the entire Gulf move in the up-inlet direction (northward) during the flood tide.

Water movement in the Gulf can then be regarded as composed of tidal oscillations having their own characteristic circulation pattern upon which is superimposed the flow pattern resulting from the seaward flow of fresh water. Perhaps the net effect of these two distinct circulation components is that the rate and duration of the flood current are decreased, and the rate and duration of the ebb increased. However, owing to the width and configuration of the Gulf, tidal currents may have a more complicated pattern, but no direct current observations have been made.

Mixing

The principal mixing forces which tend to destroy the stratification established by runoff and insolation are probably tide, wind, and the shear developed at the interface between the seaward flow of fresh water and the saline water underneath.

The mixing process in the Gulf can be partially inferred from the surface salinity distribution. The lowest surface salinity recorded at Station 1 from 1952 to 1957 was 15 ‰ (Table 1) so that at the time of this particular observation, river water five miles south of the river mouth was already about half mixed with sea water. The surface salinity at Station 1 during the rainy season is normally about 23 ‰ indicating an even greater mixing with sea water. At Station 4, approximately half-way down the Gulf, surface salinity during the rainy season ranges from about 27 to 30 ‰, and at Station 8, near the Gulf mouth, from 29 to 32 ‰. Apparently then, most of the mixing takes place in the shallow waters north of Station 4.

The effects of the tide on the salinity and temperature distribution at Station 5 in August 1953 are illustrated by Figure 19. The fact that the salinity and temperature structures observed at a given tidal stage reappeared at similar tidal stages indicates that little or no vertical mixing was occurring at this particular time and place. The observed changes probably represent the effects of the up-and-down-inlet excursion of water during a tidal cycle.

The effectiveness of the tide as a mixing agent in other parts of the Gulf, and at other times of the year, is unknown. However, tidal mixing

doubtless occurs in the narrow passage between Puntarenas and San Lucas Island and in the area immediately east of the Negritos Islands where strong rip-tides have been observed.

It is likely that wind is of some importance in the mixing of the Gulf waters. During the rainy season, when there is strong stratification, the winds are normally from the southwest, with an average velocity of about 2 to 2½ m.p.h. However, rain storms are sometimes accompanied by gusty winds up to 10 or 15 m.p.h. seldom blowing more than one or two hours. These light rainy-season winds are probably of little consequence in mixing the Gulf waters. In the early part of the dry season, however, as runoff rapidly declines, very strong winds (up to 35-40 m.p.h.) blow from the northeast for periods of one half to four or five days. These winds, occurring most frequently in December, January, and February, are undoubtedly effective in mixing the Gulf waters to considerable depths, thus destroying the stratification prevailing during the rainy season.

It is suggested that these strong northerly winds are largely responsible for greatly reducing the stratification in the Gulf waters from December to February, with respect to salinity, temperature, and oxygen (page 146). It is unlikely that tides are the cause of this phenomenon since tidal mixing is a relatively invariable process, whereas the state of negligible stratification noted above apparently occurs only in the early part of the dry season.

In addition to the purely mechanical aspect of wind mixing, the effect of wind on evaporation must also be considered. As will be shown later (page 156), evaporation is at a maximum (averaging about 12 cm./month) during the period December to March, coinciding with the time of the strong northern wind and low relative humidity. Since the effect of evaporation is to cool and increase the salinity of the surface layer, it is likely that overturn occurs, especially at night when the air temperatures decrease.

An idealized, seasonal scheme of circulation and mixing in the Gulf is proposed as follows: With the advent of the rainy season, the head of the Gulf is subject to river discharge forming a seaward surface flow. In the shallow northern half of the Gulf, wind, tides, and current shear mix the fresh water with the saline water below. As the brackish water thus formed moves over deeper Gulf waters south of Station 5, current shear causes entrainment of deep saline water through the halocline. The entrained water is replaced by means of an up-inlet flow at deeper levels. The amount of runoff fluctuates with rainfall and thus the salinity structure of the Gulf during the rainy season varies considerably.

When rainfall ceases, runoff rapidly decreases and mixing processes partially destroy stratification. Between late December and March, strong north winds sweep along the Gulf, stirring the water to considerable depths.

Also evaporation associated with these dry winds causes overturn, so that the Gulf waters show little stratification to depths of 30 to 40 meters. With the cessation of north winds about the middle of the dry season, the Gulf again becomes slightly stratified. In late May or June, heavy rains re-establish the strong stratification characteristic of the rainy season.

Classification as an estuary

Pritchard (1952) points out that because of the complexities of shore-line processes, no definite agreement exists as to the proper definition of what constitutes an estuary. However, for the purposes of this study, the Gulf of Nicoya is regarded as an estuary conforming to Ketchum's (1951) definition: "An estuary may be defined as a body of water in which the river water mixes with and measurably dilutes sea water". Pritchard (1952), however, points out that Ketchum's proposed definition is too broad in that it would include open coast along which there is measurable dilution of sea water by land water drainage. To avoid this difficulty, Pritchard suggests that a definition of an estuary should also include the qualification that it be a semi-enclosed coastal body of water. The Gulf of Nicoya also conforms to the latter qualification.

In terms of fresh water inflow and evaporation, the Gulf of Nicoya is undoubtedly a positive estuary from approximately May to December; that is, land drainage plus precipitation exceeds evaporation (Figure 20). However, from January to April when there is no precipitation (or only a trace) and river discharge is very low, there may be periods when the Gulf is a negative type; that is, evaporation exceeds the total fresh water inflow. For example, during February 1955 when the evaporation was calculated to be about 18 cm., there was only a trace of precipitation and the Rio Tempisque discharge accounted for an addition of only about 4.5 cm. of fresh water to the Gulf. In view of the extent of the watershed, it is unlikely that the other streams could exceed the difference between 18 cm. and 4.5 cm., that is 13.5 cm.

Stommel and Farmer (1952) have suggested a hydrodynamical classification of estuaries based on salinity structure. Owing to the large seasonal variations in the Gulf of Nicoya, no single classification of this type appears adequate. During the rainy season the Gulf is a highly stratified estuary (Type 3, Stommel and Farmer 1952), whereas during the dry season it may be vertically mixed or only slightly stratified.

RELATIONSHIP OF THE GULF OF NICOYA TO OFFSHORE WATERS

Because of the limitations of the research vessel and equipment used in this study, observations were not made in the coastal waters outside the Gulf of Nicoya. However, oceanographic data have been collected by various expeditions in the area off the Pacific Coast of Costa Rica, particu-

larly in the region of the Costa Rican Thermal Dome. Data from two of these expeditions are incorporated in the following discussions:

1954 anomaly

In the early part of 1954, the temperature structure of the Gulf differed remarkably from that already described (page 146) as typical for the dry season. The extent of this difference is indicated by a comparison of Figure 15, showing the typical dry season temperature distribution, with Figure 21A, illustrating the temperature structure in February 1954 when the anomaly was most pronounced. Two important facts are indicated: 1) In February 1954 the temperature structure was characterized by intense stratification below 10 meters whereas in the typical dry season pattern there is very little temperature gradient above 35 meters. 2) In February 1954 unusually cold water was present below about 15 meters throughout the Gulf. For example, the temperature at 45 meters was 4 to 5 C lower than at any other time during the period 1953 to 1957. A comparison of Figure 7 with Figures 5, 6, 8, 9, and 10, illustrates the remarkable effect of this unusually cold water on the temperature structure of Station 4. Normally, the temperature from top to bottom at this station during the dry season ranges from 27 to 29 C but during February 1954 temperatures as low as 18°C were recorded.

The presence of such cold water might be attributed to upwelling or to a marked change in the temperature structure of the adjacent coastal waters. Upwelling does not appear to be a likely cause because the observed high surface temperatures and strong thermocline are not characteristic of an area of upwelling.

It is suggested that the unusually cold water in the Gulf in early 1954 may have been due to a shift or an extension of the Costa Rican Thermal Dome nearer to the coast. Such movements of the dome are discussed by Cromwell (1958). Figures 1a to 1d in his paper indicate that in the spring the dome is much nearer the coast than it is during the rest of the year. Since the dome is an area in which the thermocline is usually near the surface, a shift of this temperature structure to the east might at times strongly influence even coastal waters such as those of the Gulf of Nicoya.

Figure 22 illustrates the T-S relationships at Station 8 in February for the years 1953 to 1957. For comparison there is also plotted a T-S curve corresponding to a station occupied on the dome (at 09 34.0' N., 89 13.5' W.) in November 1956 during the *Scope* expedition of Scripps Institution of Oceanography. Again the degree of the 1954 temperature anomaly in the Gulf is evident. The temperature at 20 and 35 meters at Station 8 in February 1954 was 7 to 8-C lower than the temperature at corresponding depths during February observations made at this station in all other years (1953 to 1957) treated in this report. Unfortunately, in February 1954 no temperature data for Station 8 are available for depths greater than 35 meters.

A comparison of the *Scope* station T-S curve with that of Station 8 in February 1954 indicates that, although not identical, the T-S curves of these two stations are quite similar, especially at 20 meters and below. Certainly they are far more alike than is the T-S curve for Station 8 in February 1954 compared with those for February in other years. The cooler water in the upper 10 meters at the *Scope* station is probably partly due to the fact that the *Scope* observations were made during November, the month of minimum sea surface temperatures, while the T-S curves for Station 8 are based on observations made mostly in the latter part of February when sea surface temperatures are higher. The fact that the upper 10 or 15 meters of water at Station 8 in February 1954 is fresher than water of equivalent depth at the *Scope* station can be attributed to run-off into the Gulf.

Up to this point, the discussion of the anomalous situation in early 1954 has been restricted to temperature, when in fact the salinity structure also varied from the normal dry season pattern, although not so spectacularly.

Figure 21B depicts the salinity structure of the Gulf in February 1954. Although the development of the salinity gradient is not unusual for the dry season, the presence of such saline water at this time of year below 20 meters is definitely unusual. For example, the T-S curves for Station 8 in Figure 22 indicate that the salinity at the 20 and 35-meter levels at Station 8 in February 1954 was approximately 1.5‰ greater than the salinity at the same depths in other years.

Eastrop and Nicoya data, 1955

An interesting case of the influence of runoff from the Gulf of Nicoya on adjacent coastal waters is illustrated by Figure 23. The data are based on observations made immediately south of the Gulf of Nicoya during the *Eastrop* expedition in early November 1955 and on observations made in the Gulf of Nicoya by Tuna Commission personnel during the same period at Stations 1, 4, 5, 7, and 8.

The effects of runoff from the Gulf are detectable out to Station 40, nearly 60 miles south of the Gulf mouth. However, it must be pointed out that these observations were made just a few days after the rainiest month ever recorded in the Gulf area. During October 1955, 973 mm. of rain fell, over three times the average amount of precipitation for the month of October. It is likely that the effects of runoff from the Gulf do not ordinarily prevail so far out to sea.

HEAT BUDGET OF THE GULF

In order to determine whether or not the observed temperature changes in the Gulf could be explained entirely in terms of heat exchange with the atmosphere, a study was made of the relationship among the

various terms of the heat budget equation and the observed changes in the heat content of the Gulf. The sea may gain or lose heat by means of energy exchange processes occurring at the air-sea boundary and through transport of heat in or out of the area by advective processes. The heat budget for a particular area of the ocean during a given time interval can be expressed as

$$Q_s - Q_b - Q_e - Q_h + Q_v + Q_t = 0$$

where Q_s represents the total direct and diffuse incoming solar radiation, Q_b is the effective back radiation, Q_e is evaporation, Q_h is the conduction of sensible heat between the atmosphere and sea, Q_v is the net amount of heat brought in or out by transport of water, and Q_t represents the heat that warms the water column.

Throughout the analysis that follows, the above terms are expressed as gram calories per square centimeter per day.

Data

Meteorological data used in this analysis were obtained from a Pan American World Airways weather station at Puntarenas, approximately mid-way along the eastern shore of the Gulf of Nicoya. The monthly means of air temperature, relative humidity, cloud cover, and wind velocity, were determined from five observations per day between 1200 and 2400 hours (Table 2).

The monthly mean sea surface temperatures during 1954 and 1955 were computed from tri-hourly readings of a temperature recorder installed at the Puntarenas pier. Sea surface temperatures during 1953 were determined from bucket thermometer readings taken at approximately monthly intervals when the oceanographic stations were occupied.

Computations of the amount of heat used locally for changing the temperature of the sea water are based on bathythermographic data obtained from oceanographic Stations 4 and 8.

Radiation from sun and sky absorbed by the sea (Q_s)

The incoming radiation from the sun is mostly shortwave, reaching the sea surface partly as direct radiation from the sun and partly as reflected or scattered radiation from the sky.

Kimball (1928) published tables of the total amount of radiation received on the sea surface under clear sky at different localities, which have been almost universally used by investigators to the present time. The first major revision of these data has been published by Budyko (1956). Budyko's estimates, used in the present analysis of the heat budget of the Gulf of Nicoya, are considered to be superior to those of Kimball because they are based on data gathered over a much greater time interval.

Budyko's estimates of direct and diffuse incoming radiation (Q_o) to the Gulf of Nicoya (10°N . latitude) are shown in Table 4. To correct for cloud cover and reflection, the expression proposed by Budyko was used.

$$Q_s = Q_o \cdot r (1 - 0.66C)$$

where Q_s is the net solar radiation reaching the sea surface after correcting for cloud cover and reflection, Q_o is the total incoming radiation per day under cloudless skies, r is the amount reflected from the sea surface (here taken to be 4%), and C is the cloudiness given in tenths.

The important influence of cloud cover is evident upon comparing the rate of incident radiation (Table 4) with that of the absorbed radiation (Figure 24). During the rainy season (May through October), when on the average approximately 90% of the sky is clouded, only about 40% of the available incident radiation reaches the sea surface. The effect of cloud cover is also indicated by comparing the amounts of absorbed solar radiation in March of 1954 and 1955 (Table 5). During March 1954, when the average cloudiness was about three times greater than in March 1955, the absorbed solar energy was 25% less than that during March 1955.

Effective back radiation (Q_b)

While the sea is constantly being warmed to some degree by solar radiation, it is also continuously losing heat by long-wave radiation from the sea surface. Part of this back radiation is absorbed by the atmosphere and radiated back to the sea surface, which in turn reflects a small quantity back to the atmosphere. The effective back radiation (Q_b) is the long-wave radiation from the sea surface minus that from the atmosphere. Budyko expresses it as

$$Q_b = Q_{bo} (1 - 0.55 C^2) + K (T_{sea} - T_{air})$$

where K is a constant dependent on temperature, and Q_{bo} (the back radiation with a clear sky) is dependent on the sea temperature and humidity. Tables for K and Q_{bo} are given by Budyko.

Figure 24 shows the monthly means (1953-1955) of effective back radiation from the Gulf of Nicoya. Monthly values of Q_b for 1953 to 1955 are shown in Table 5. The annual cycle of Q_b closely resembles that of absorbed solar energy, and represents approximately one fourth of the latter.

Evaporation (Q_e)

In this study, the evaporation in centimeters was computed from Jacobs' (1951) equation

$$E = (0.011) (W) (e_w - e_a)$$

where W is the wind velocity in meters per second, e_w is the vapor pressure at the sea surface in millibars and e_a is the vapor pressure at height a in millibars. Q_e , the heat lost from the sea due to evaporation,

was determined by multiplying the evaporation in centimeters by an average value of the heat of evaporation (585 gr. cal./gram).

It should be pointed out that since Jacobs' evaporation formula is based on studies of large ocean areas rather than of semi-enclosed waters influenced by land masses, the evaporation data presented here for the Gulf of Nicoya may not be entirely reliable. Another source of error is that the meteorological observations from the Nicoya area applied to Jacobs' formula, are only available for the period between 1200 and 2400 hours. If the diurnal fluctuations in wind velocity and vapor pressure are very large, the monthly means may be somewhat in error.

Q_e monthly means for 1953 to 1955 are plotted in Figure 24. Actual monthly values for the same period are shown in Table 5. The average yearly cycle of Q_e values closely resembles that of Q_s ; that is, there is a maximum heat loss due to evaporation during the dry season (December to March) and a minimum heat loss during the rainy season (May to November). The annual amplitude of Q_e is approximately 50% of that of absorbed energy during the dry season, and about 15% during the rainy season.

During the dry season of 1954 the rate of evaporation was much less than during the corresponding months of 1953 and 1955. This difference is probably the result of differences in wind velocity. For example, during the first four months of 1954 when the average wind velocity (1.65 meters/sec.) was about one half of that during the corresponding months in 1955, the average rate of evaporation (140 gr.cal./cm.²/day) for 1954 was only about one half of that for 1955.

In some years, as a result of higher wind velocities, the rate of evaporation may be considerably greater than indicated by the data from 1953-1955. For example, during the three-year period from 1948 to 1950, the average wind velocity for the first three months of the year was 8.2 knots compared with 4.8 knots during the same three-month period of the three years included in the present study.

Conduction of sensible heat to the atmosphere (Q_h)

The Bowen Ratio (Bowen, 1926) is commonly used in computing the rate of conduction. Bowen demonstrated that the ratio R of the heat loss by conduction to that by evaporation can be computed from

$$R = 0.66 \frac{T_s - T_a}{e_w - e_a}$$

where T_s is the sea surface temperature and T_a is the air temperature. So that

$$Q_h = 0.66 \frac{T_s - T_a}{e_w - e_a} Q_e$$

Values of Q_h for the Gulf of Nicoya during the period 1953-1955 are shown in Table 5. It is apparent that the loss of heat to the atmosphere

through the conduction of sensible heat is of little consequence, which is not surprising in view of the fact that the sea surface and air temperatures in the Gulf are nearly identical.

Over the three-year period considered in this study, there is no apparent seasonal pattern of conduction in the Gulf, though there is such a pattern of evaporation. The rate of conduction during 1953-1955 was less than three per cent of the rate of evaporation.

Negative values are recorded in some months indicating that heat was conducted from the atmosphere to the sea.

Total heat transfer across the air-sea boundary

Monthly values of the total heat transfer across the air-sea boundary (that is the arithmetic sum of the solar radiation, effective back radiation, evaporation, and the conduction of sensible heat) for the period 1953-1955 are shown in Table 5. With two minor exceptions, these values are positive indicating that the sea is constantly gaining more heat from the atmosphere than it is losing to the atmosphere. This constant gain of heat by the sea requires that advective processes of some type be responsible for maintaining the heat balance in the Gulf of Nicoya.

The mean monthly values (1953-1955) of the total heat transfer are at a maximum during the rainy season and at a minimum during the dry season. This pattern is particularly apparent in 1953 and 1955. However, the 1954 values are considerably different from those in the other two years, largely as a result of a low rate of evaporation associated with low wind velocities during the period February to April 1954. On the basis of wind data from other years for this same area, the low rate of evaporation during early 1954 and the consequent seasonal pattern of total heat transfer for this year are considered to be anomalous.

The energy exchange processes involved in the heat equation vary in amplitude but have approximately the same seasonal pattern, with the exception of the conduction of sensible heat which is relatively unimportant (Figure 24). The absorbed solar radiation, effective back radiation and evaporation all have a maximum in the dry season and a minimum in the rainy season. Of the two causes of heat loss to the atmosphere, evaporation is the most important during the dry, windy months while back radiation is more prominent during the rainy season. The seasonal variation of the total heat transfer is therefore principally controlled by a heat gain from absorbed solar radiation and heat losses from evaporation and back radiation.

Advection (Q_v)

Having computed the rate of heat input into the sea due to energy exchange processes, it is possible to determine the rate of advection if the

rate of change of heat content in the sea is known. The latter term may be calculated as

$$Q_t = c_p \rho \sum_0^z \frac{\Delta T}{\Delta t} \Delta z$$

where c_p is the specific heat of sea water at constant pressure, ρ is the average density of the sea water, ΔT is the difference in the mean temperature of the water column at the beginning and end of a given time interval (Δt) expressed in days, and Δz is the depth of the water column in centimeters.

Figure 25 shows the rate of advection (the difference between the total heat transfer across the air-sea boundary and Q_t , the amount of heat used locally to warm sea water) at Stations 4 and 8 during the periods between observations at these stations. With minor exceptions, the advection values are always negative indicating an almost continuous loss of heat from the Gulf by this process. It will be noted that during 1953 and 1955 the loss of heat by advection is at a maximum in the rainy season and at minimum in the dry season. The situation in 1954 was quite distinct. During the early part of that year, there is indicated a strong advection of heat out of the Gulf, with the invasion of the Gulf by cold water. However, as noted on page 152, the presence of such cold water in the Gulf at that time of year is unusual.

If the advection data for 1953 and 1955 are regarded as indicating the normal annual cycle the question arises as to what advective process or processes are responsible for a maximum loss of heat from the Gulf during the rainy season.

A likely explanation for this heat loss is the circulation scheme proposed above (page 150). With an excess of precipitation over evaporation, there must be a seaward flow of warm, brackish water which in turn is replaced by cooler, saline water from offshore and below.

Another cause of heat loss during the rainy season may be cool river water entering the Gulf. However, the degree of such cooling is probably slight in view of the fact that river water temperatures are thought to be approximately the same as those of surface waters in the Gulf (page 148).

APPENDIX

The relation of the hydrography to the anchoveta

Until 1947, the Gulf of Nicoya supported a large population of anchovetas (*Cetengraulis mysticetus*), an important bait species used by tuna fishermen. The population is reported to have declined abruptly in the summer and fall of 1947, coincident with a reported heavy bloom

of "red water" (presumably *Gymnodinium* sp.). Only small amounts of anchovetas were taken in 1948 and 1949, and no fishery for this species has taken place in the Gulf since 1950 (Peterson, 1956).

It is impossible to either prove or disprove that "red water" was responsible for the catastrophic decline of the anchoveta population in the Gulf because the supposed presence of "red water" in the Gulf in 1947 is based on verbal reports, and it is not certain that "red water" invariably has an adverse effect upon fish (Brongersma-Sanders, 1957).

Since excess variations in salinity and temperature have been known to wipe out populations of marine organisms in estuaries, it might be hypothesized that such variations were responsible for the sudden decline of anchovetas in the Gulf of Nicoya.

Seasonal changes of temperature in the shallow waters of the Gulf formerly occupied by anchovetas rarely exceed 3° or 4°C. Even during the period of anomalous temperatures which prevailed in the Gulf during 1954 (page 152), the temperature of the upper 10 or 15 meters of water was similar to that of other dry seasons (about 27°C).

Abrupt changes of water temperature occurring over several hours or days are apt to adversely affect marine organisms more than gradual seasonal changes. The most abrupt water temperature changes in the Gulf occur at the beginning of a period of strong northerly winds (see page 146), but such changes rarely exceed 2°-3°C. The anchoveta apparently successfully survives greater and more abrupt changes in the bait wells of tuna vessels traveling from certain baiting areas to the fishing grounds.

As indicated in Figure 2, seasonal salinity variations at the surface in the Gulf of Nicoya range from lows of 15 ‰ to 20 ‰ at the head of the Gulf during the rainy season, to values as high as 34.5 ‰ during the dry season. In view of the salinity of offshore waters (maximum about 34.8 ‰, and the free exchange of water between the Gulf and the sea, it is unlikely that abnormally high salinity could have been responsible for the disappearance of the anchoveta. Although 1946-1948 was a period of below normal precipitation (Table 3), it was not significantly lower than earlier years when the population of anchovetas was flourishing. The fact that precipitation in the Gulf area during 1946 and 1948 was below normal also precludes the possibility that the anchoveta population was wiped out by abnormally low salinity conditions.



Figure 1. Map of the Gulf of Nicoya showing: depth contours in fathoms (gray shading—less than 5 fathoms, dotted line—20 fathoms, solid line—100 fathoms); bottom types (GY.S—gray sand, GN.S—green sand, GN.M—green mud, RKY—rocky, SH—shell); and nine hydrographic stations (station numbers circled).

Figura 1. Mapa del Golfo de Nicoya mostrando: los contornos de las profundidades en brazas (sombreado en gris—menos de 5 brazas, línea de puntos—20 brazas, línea continua—100 brazas); los tipos de fondo (GY.S—arena gris, GN.S—arena verde, GN.M—fango verde, RKY—rocoso, SH—conchas) y nueve estaciones hidrográficas (el número de cada una está dentro de un círculo).

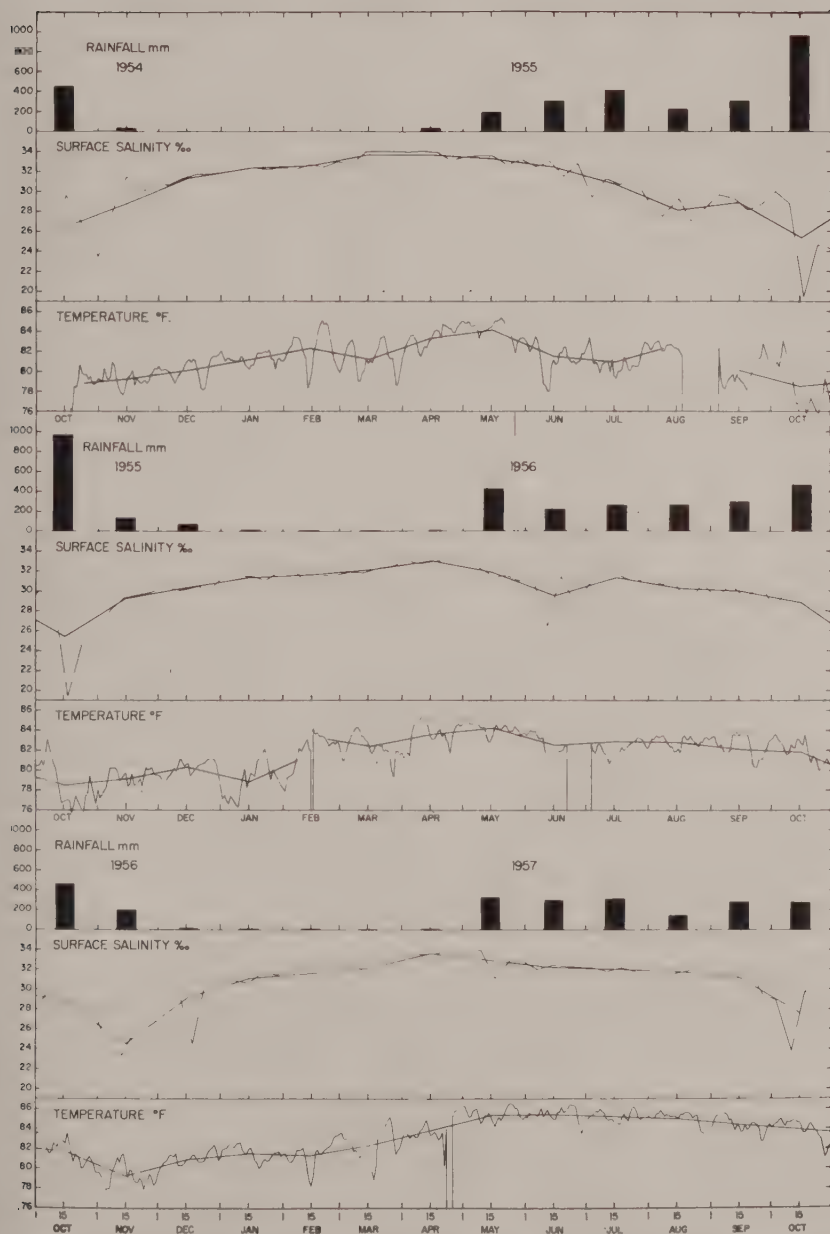


Figure 2. Salinity and temperature at Puntarenas pier, and rainfall at San Miguel de Barranca, 1954-1957.

Figura 2. Salinidad y temperatura en el muelle de Puntarenas y precipitación en San Miguel de Barranca, 1954-1957.

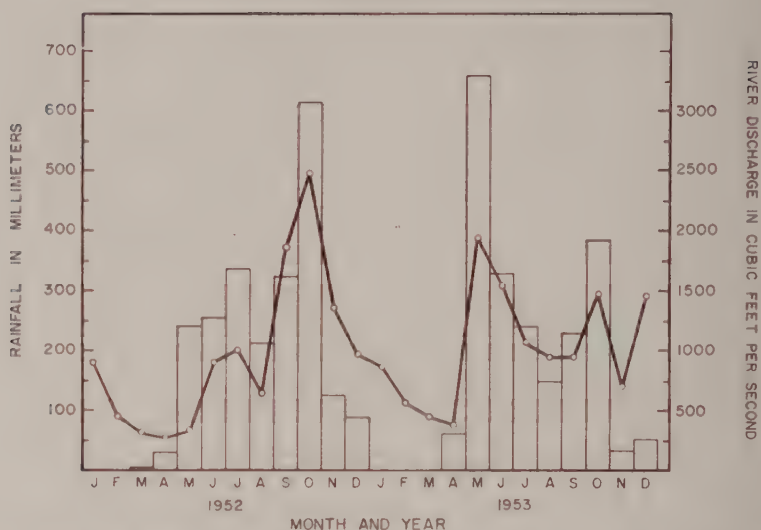


Figure 3. Relationship between rainfall and river discharge, January 1952 to December 1953. Histogram shows rainfall by months in millimeters as recorded at Barranca. Line indicates the discharge by months of the Rio Tempisque in cubic feet per second.

Figura 3. Relacion entre la precipitacion y la descarga del rio de enero de 1952 a diciembre de 1953. El histograma presenta las precipitaciones por meses, en milímetros, de acuerdo con lo registrado en Barranca. La línea indica la descarga por meses del Rio Tempisque en pies cúbicos por segundo.

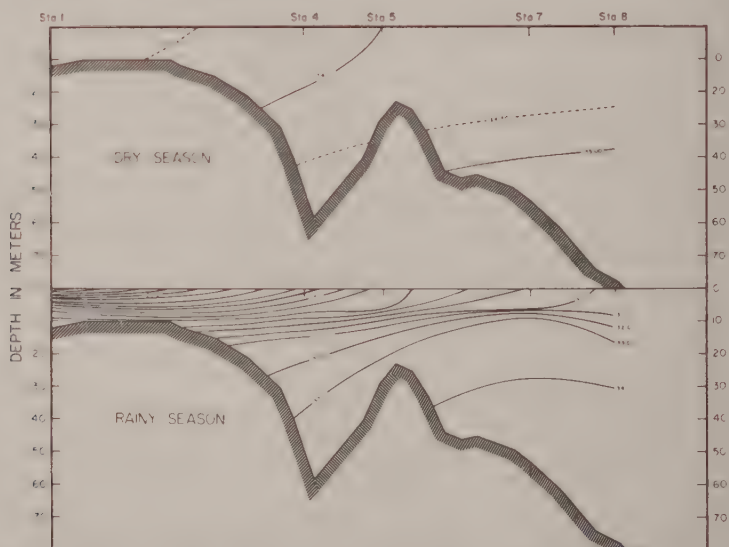


Figure 4. Longitudinal section showing typical salinity (‰) distribution in the Gulf of Nicoya in the dry and rainy seasons.

Figura 4. Perfil longitudinal que indica la distribución típica de la salinidad (‰) en el Golfo de Nicoya en las estaciones seca y lluviosa.

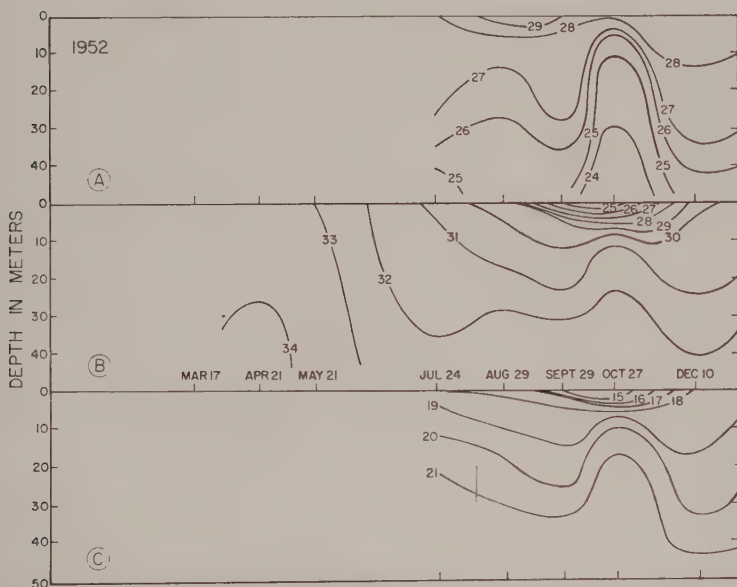


Figure 5. Seasonal cycles during 1952 of (A) temperature, (B) salinity, and (C) density σ_t at Station 4 in the Gulf of Nicoya.

Figura 5. Ciclos estacionales durante 1952 de la temperatura (A), salinidad (B) y densidad σ_t (C) en la Estación 4 en el Golfo de Nicoya.

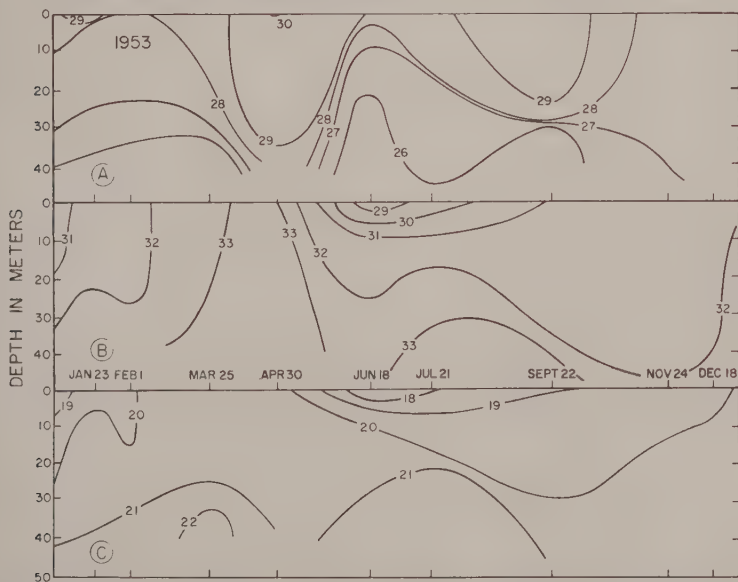


Figure 6. Seasonal cycles during 1953 of (A) temperature, (B) salinity, and (C) density σ_t at Station 4 in the Gulf of Nicoya.

Figura 6. Ciclos estacionales durante 1953 de la temperatura (A), salinidad (B) y densidad σ_t (C) en la Estación 4 en el Golfo de Nicoya.

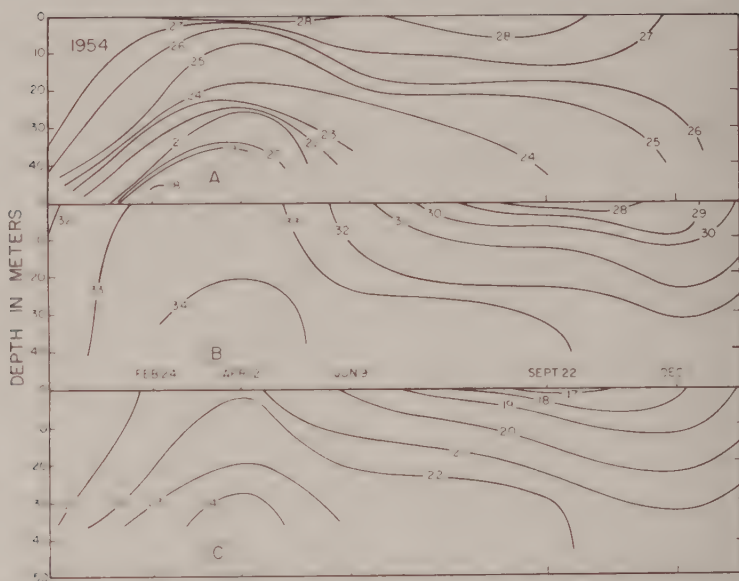


Figure 7. Seasonal cycles during 1954 of (A) temperature, (B) salinity, and (C) density σ_t at Station 4 in the Gulf of Nicoya.

Figura 7. Ciclos estacionales durante 1954 de la temperatura (A), salinidad (B) y densidad σ_t (C) en la Estación 4 en el Golfo de Nicoya.

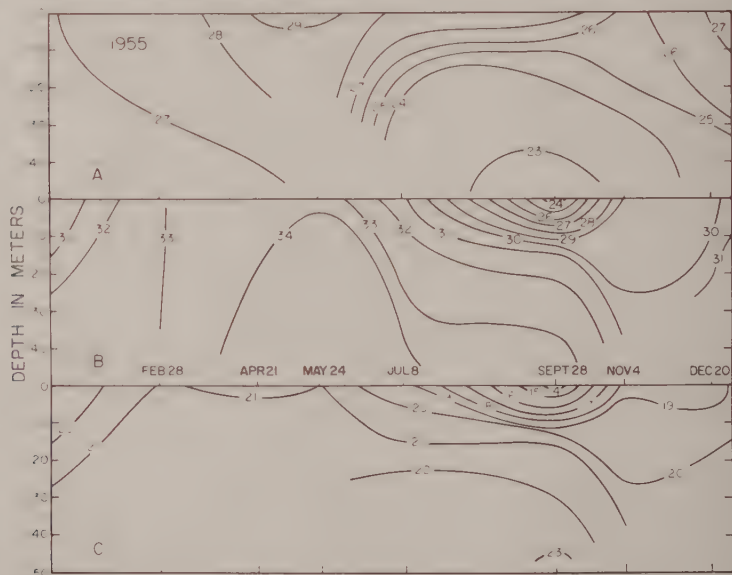


Figure 8. Seasonal cycles during 1955 of (A) temperature, (B) salinity, and (C) density σ_t at Station 4 in the Gulf of Nicoya.

Figura 8. Ciclos estacionales durante 1955 de la temperatura (A), salinidad (B) y densidad σ_t (C) en la Estación 4 en el Golfo de Nicoya.

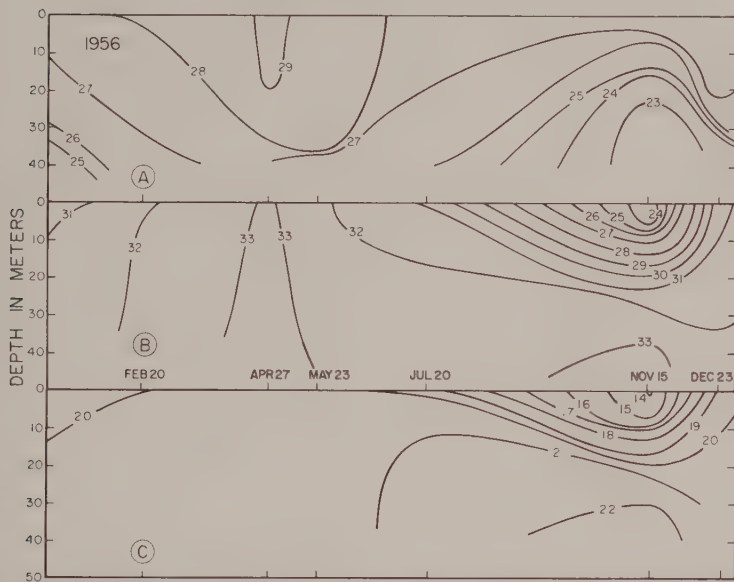


Figure 9. Seasonal cycles during 1956 of (A) temperature, (B) salinity, and (C) density σ_t at Station 4 in the Gulf of Nicoya.

Figura 9. Ciclos estacionales durante 1956 de la temperatura (A), salinidad (B) y densidad σ_t (C) en la Estación 4 en el Golfo de Nicoya.

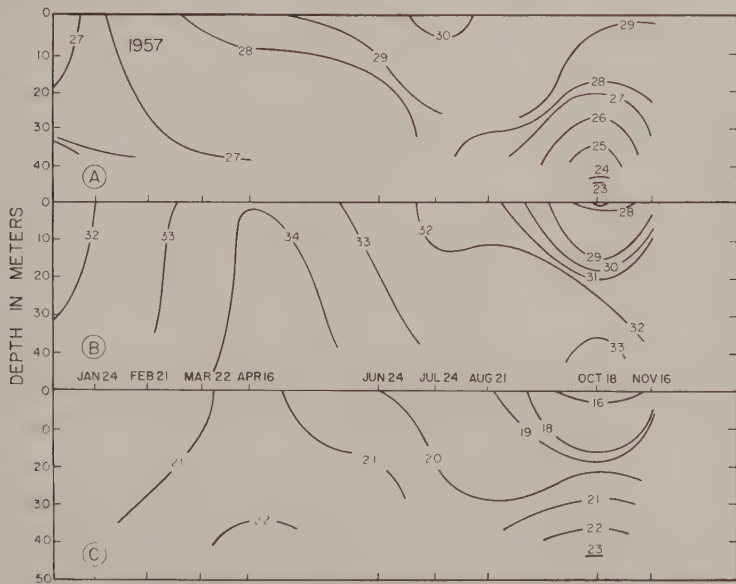


Figure 10. Seasonal cycles during 1957 of (A) temperature, (B) salinity, and (C) density σ_t at Station 4 in the Gulf of Nicoya.

Figura 10. Ciclos estacionales durante 1957 de la temperatura (A), salinidad (B) y densidad σ_t (C) en la Estación 4 en el Golfo de Nicoya.

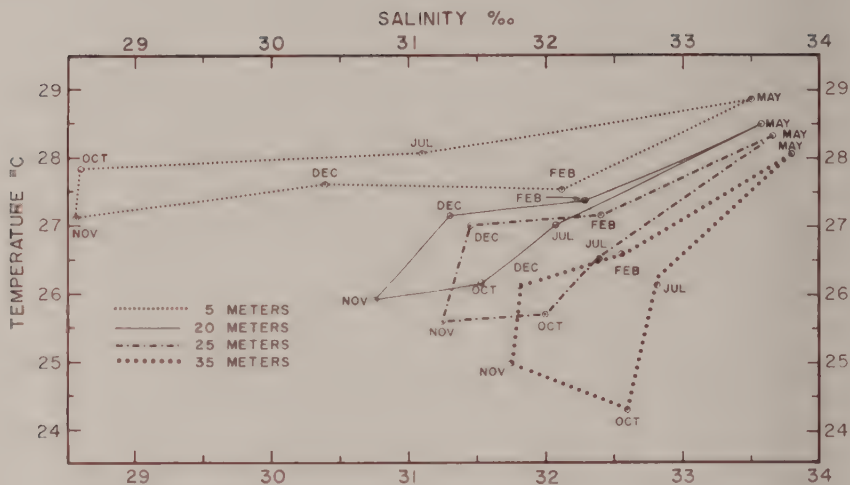


Figure 11. Seasonal cycle of temperature-salinity relations for selected depths and months at Station 4, based on the means of all observations made from 1952 through 1957.

Figura 11. Ciclo estacional de las relaciones entre la temperatura y la salinidad en profundidades y meses seleccionados en la Estación 4, basado en los promedios de todas las observaciones hechas de 1952 a 1957.

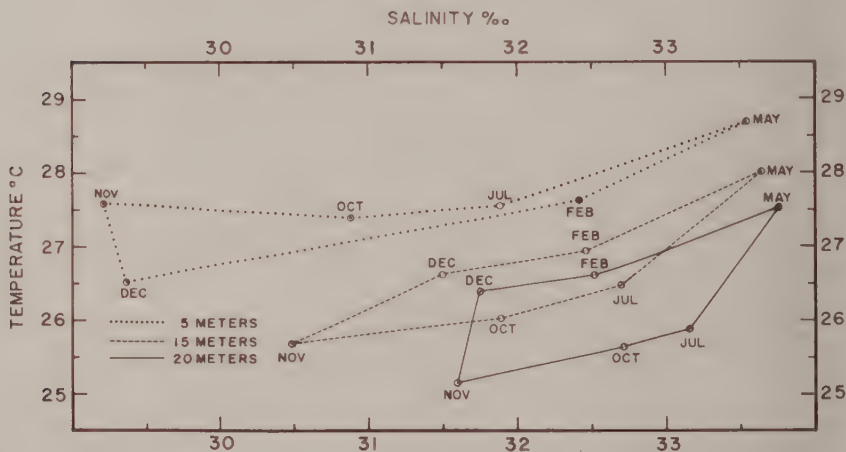


Figure 12. Seasonal cycle of temperature-salinity relations for selected depths and months at Station 5, based on the means of all observations made from 1952 through 1957.

Figura 12. Ciclo estacional de las relaciones entre la temperatura y la salinidad en profundidades y meses seleccionados en la Estación 5, basado en los promedios de todas las observaciones hechas de 1952 a 1957.

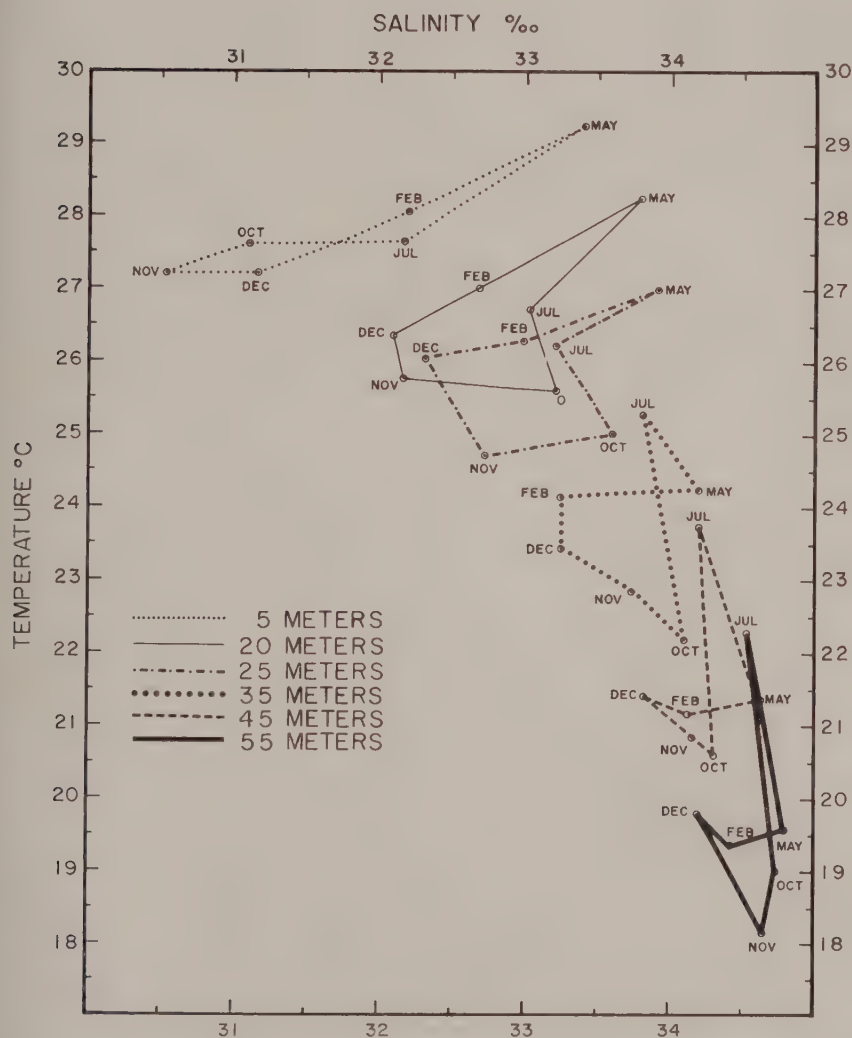


Figure 13. Seasonal cycle of temperature - salinity relations for selected depths and months at Station 8, based on the means of all observations made from 1952 through 1957.

Figura 13. Ciclo estacional de las relaciones entre la temperatura y la salinidad en profundidades y meses seleccionados en la Estación 8, basado en los promedios de todas las observaciones hechas de 1952 a 1957.

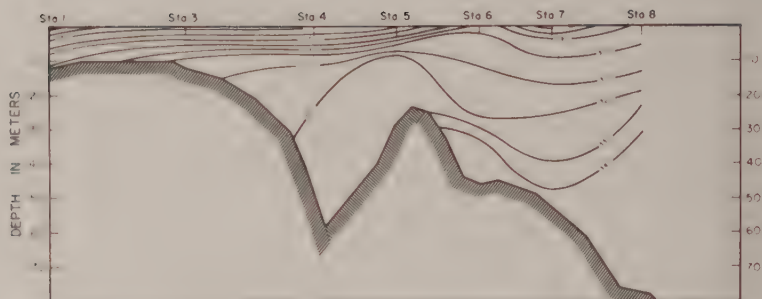


Figure 14. Longitudinal section showing salinity distribution in October 1952.

Figura 14. Perfil longitudinal mostrando la distribución de la salinidad en octubre de 1952.

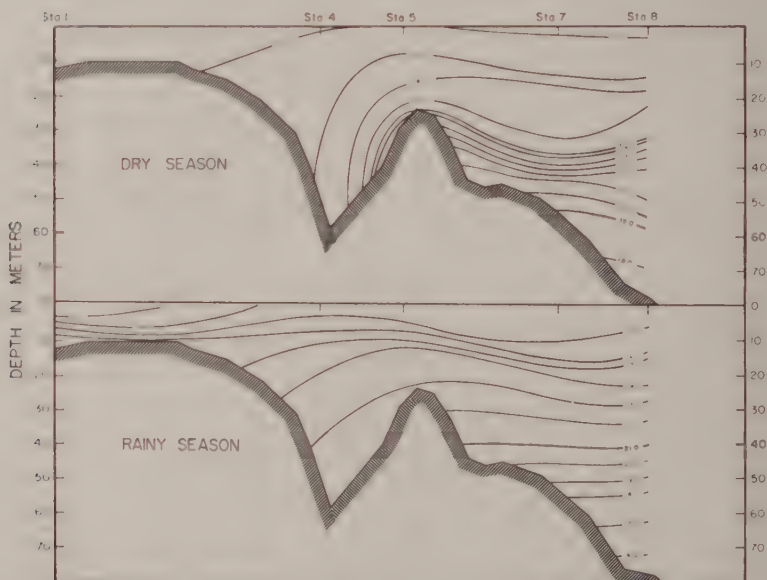


Figure 15. Longitudinal section showing typical temperature ($^{\circ}\text{C}$) distribution in the Gulf of Nicoya in the dry and rainy seasons.

Figura 15. Perfil longitudinal mostrando la distribución típica de la temperatura ($^{\circ}\text{C}$) en el Golfo de Nicoya durante las estaciones seca y lluviosa.

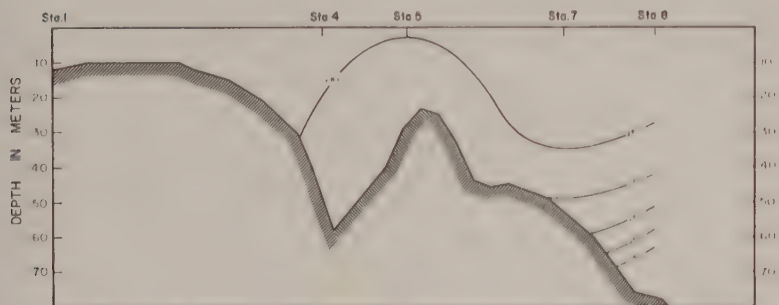


Figure 16. Longitudinal section showing temperature ($^{\circ}\text{C}$) distribution in the Gulf of Nicoya in December 1957.

Figura 16. Perfil longitudinal mostrando la distribución de la temperatura ($^{\circ}\text{C}$) en el Golfo de Nicoya en diciembre de 1957.

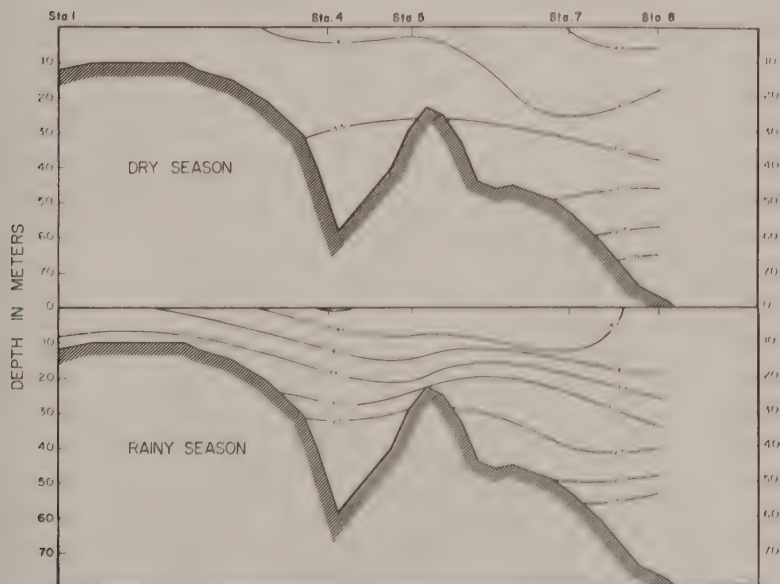


Figure 17. Longitudinal section showing typical dissolved oxygen (ml./L.) distribution in the Gulf of Nicoya in the dry and rainy seasons.

Figura 17. Perfil longitudinal mostrando la distribución típica del oxígeno disuelto (ml./L.) en el Golfo de Nicoya durante las estaciones seca y lluviosa.

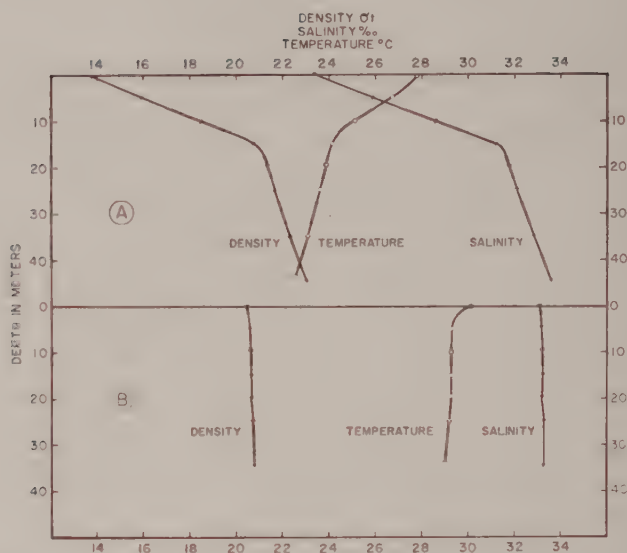


Figure 18. Typical vertical density (σ_t), salinity, and temperature distributions for the Gulf of Nicoya during (A) the rainy season, and (B) the dry season.

Figura 18. Distribuciones verticales típicas de la densidad (σ_t), salinidad y temperatura en el Golfo de Nicoya durante las estaciones lluviosa (A) y seca (B).

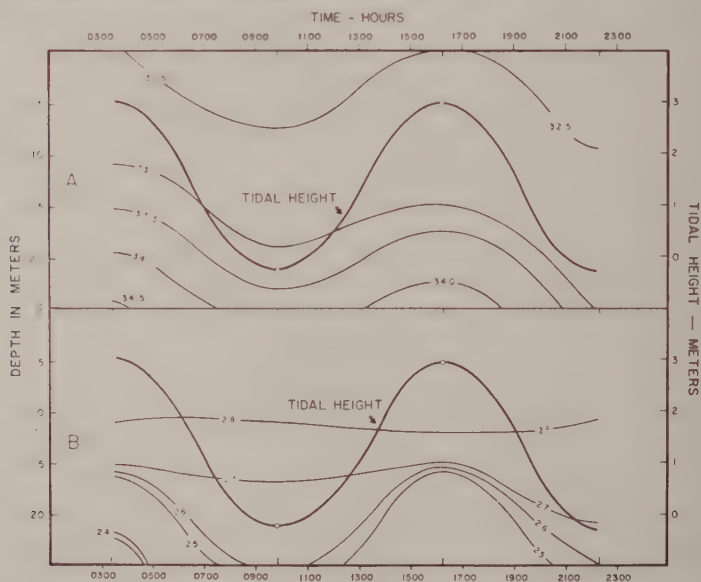


Figure 19. Salinities (A) in ‰ and temperature (B) in °C at successive tidal stages at Station 5 on August 26, 1953.

Figura 19. Las salinidades (A) en ‰ y temperatura (B) en °C en las sucesivas etapas de la marea en la Estación 5, el 26 de agosto de 1953.

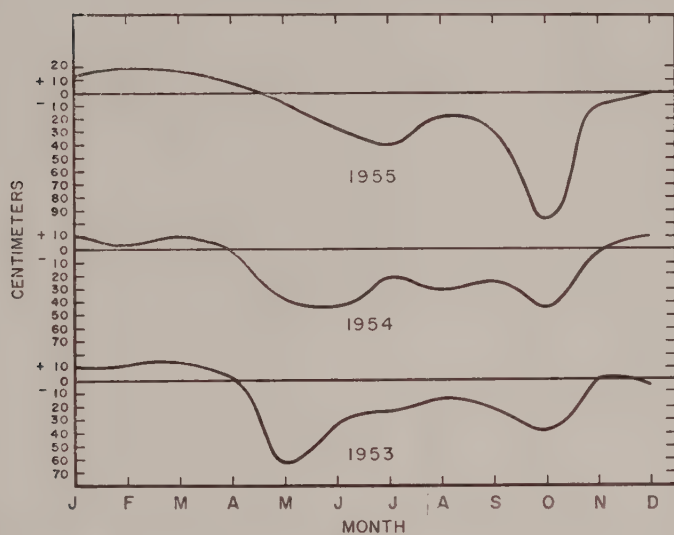


Figure 20. Monthly values of the arithmetic sum of evaporation and precipitation ($E-P$) during 1953, 1954 and 1955.

Figura 20. Valores mensuales de la suma aritmética de la evaporación y la precipitación ($E-P$) durante 1953, 1954 y 1955.

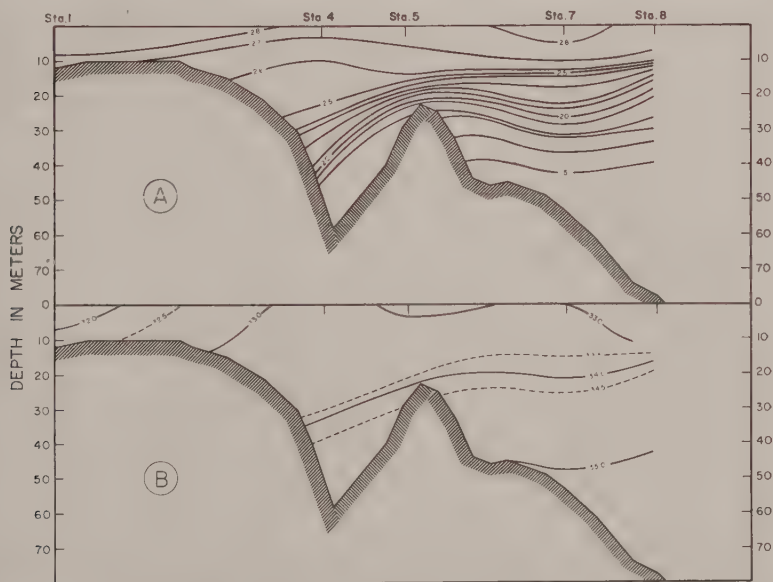


Figure 21. Longitudinal section of (A) temperature, and (B) salinity in the Gulf of Nicoya on February 24-25, 1954.

Figura 21. Perfil longitudinal de la temperatura (A) y la salinidad (B) en el Golfo de Nicoya, el 24 y 25 de febrero de 1954.

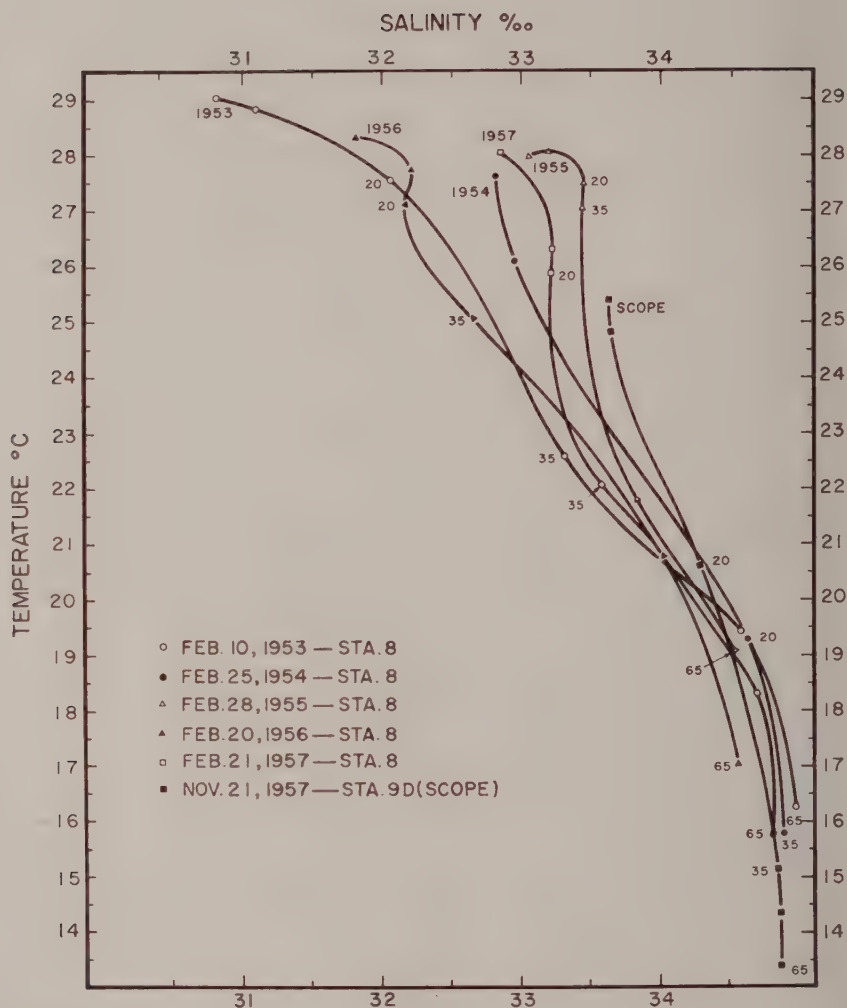


Figure 22. Temperature-salinity relations at Station 8 from 1953 to 1957, and at Scope station 9D. Depths are given in meters.

Figura 22. Relaciones entre la temperatura y la salinidad en la Estación 8, de 1953 a 1957, y en la Estación 9D de la Scope. Las profundidades se indican en metros.

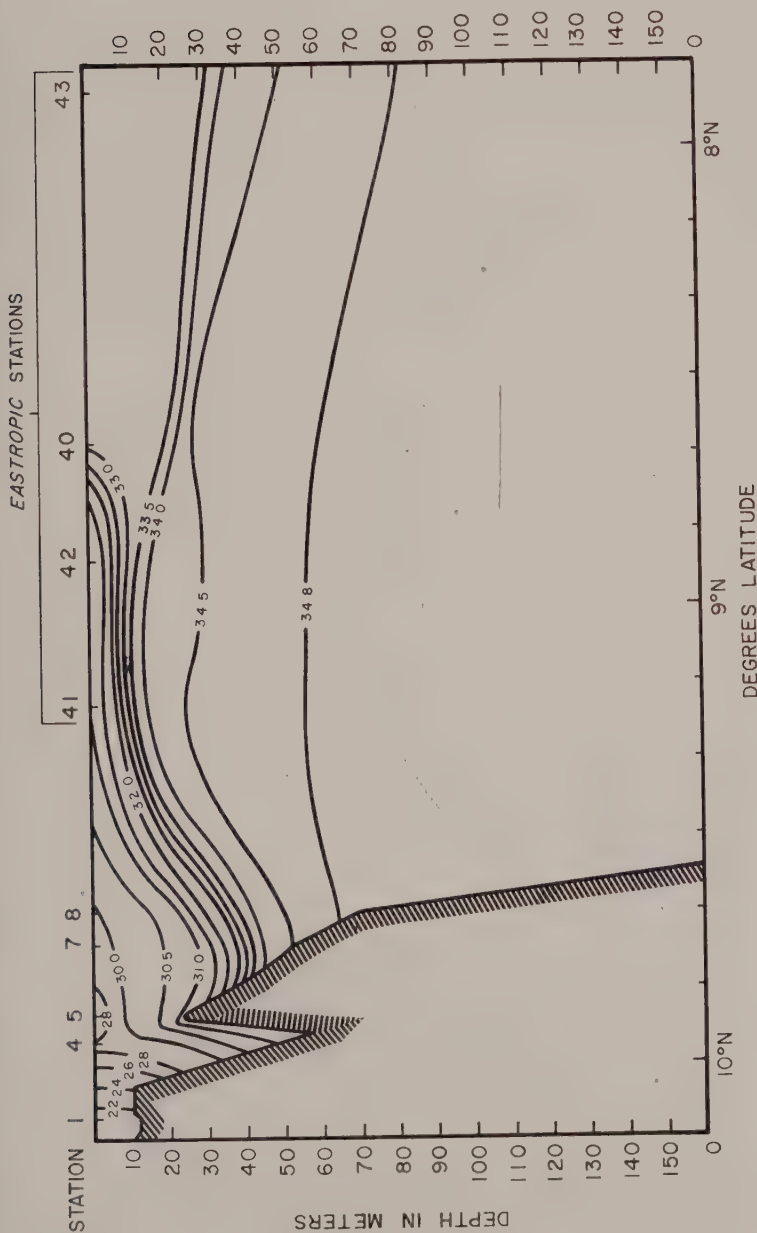


Figure 23. Longitudinal section showing distribution of salinity from the head of the Gulf of Nicoya (Station 1) to 7°52.5' N., 84°32' W.

Figura 23. Perfil longitudinal mostrando la distribución de la salinidad desde la cabeza del Golfo de Nicoya (Estación 1) hasta 7°52.5' N., 84°32' W.

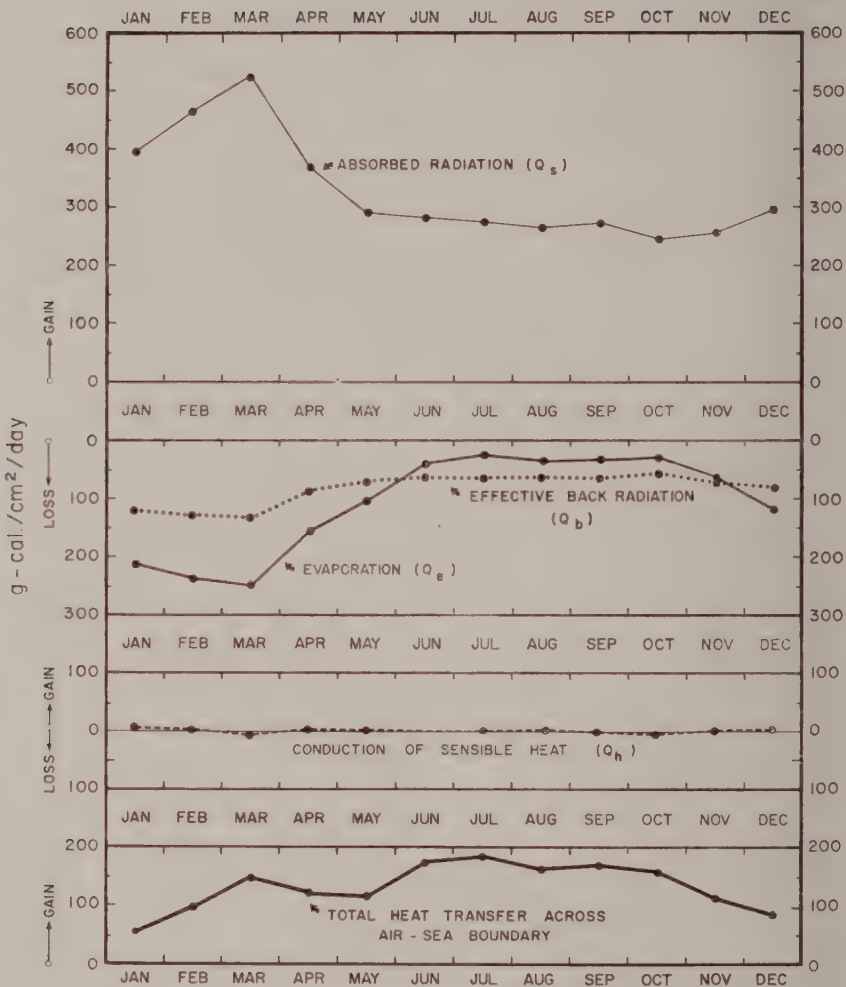


Figure 24. Monthly means (1953-1955) of incident solar radiation in absence of clouds (Q_0), absorbed radiation (Q_a), evaporation (Q_e), effective back radiation (Q_b), and total heat transfer across the air-sea boundary.

Figura 24. Medias mensuales (1953-1955) de la radiación solar incidente en ausencia de nubes (Q_0), radiación absorbida (Q_a), evaporación (Q_e), radiación efectiva devuelta (Q_b) y transferencia total de calor a través del límite aire-mar.

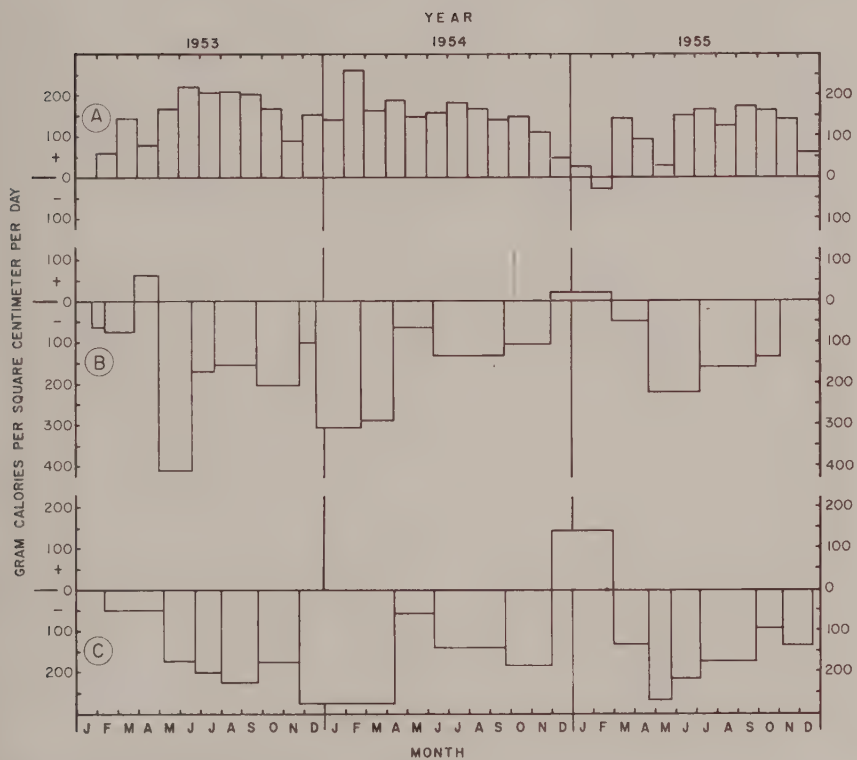


Figure 25. Seasonal variation of (A) total heat transfer across the air-sea boundary, and advection at (B) Station 4 and (C) Station 8, in gram calories per square centimeter per day.

Figura 25. Variación estacional de la transferencia total de calor (A) a través del límite aire-mar y de la advección en la Estación 4 (B) y Estación 8 (C) en calorías-gramos por centímetro cuadrado, por día.

Table 1. Observed values of temperature, salinity and dissolved oxygen, and computed values of density (σ_t) for accepted depths at oceanographic stations occupied in the Gulf of Nicoya from 1952 to 1957.

Tabla 1. Valores observados de temperatura, salinidad y oxígeno disuelto y valores de densidad computados (σ_t) para profundidades aceptadas en las estaciones oceanográficas ocupadas en el Golfo de Nicoya de 1952 a 1957.

Sta.	Depth	Temp.	Sal.	σ_t	Oxygen	Sta.	Depth	Temp.	Sal.	σ_t	Oxygen
(m.)	(m.)	°C	‰		ml./L.	(m.)	(m.)	°C	‰		ml./L.
Estación	Prof.	Temp.	Sal.	σ_t	Oxígeno	Estación	Prof.	Temp.	Sal.	σ_t	Oxígeno
(m.)	(m.)	°C	‰		ml./L.	(m.)	(m.)	°C	‰		ml./L.
March 12, 1952							8		32.84		
1	0		31.83				10		32.86		
	5		32.01				12		32.84		
	10		32.12			2	0		33.08		
2	0		31.91				2		33.06		
	6		31.98				4		33.06		
3	0		32.97			3	0		33.00		
	5		33.04				2		33.08		
	10		33.15				4		33.03		
March 17, 1952							6		33.06		
4	0		33.24				8		33.06		
	10		33.42			4	10		33.06		
	25		33.53				0		32.97		
5	0		33.42				3		33.04		
	10		33.68				6		33.08		
	25		34.13				9		33.02		
April 21, 1952							12		33.00		
1	0		33.60				15		33.04		
	2		33.57				18		33.13		
	4		33.57				21		33.13		
	6		33.60				24		33.16		
	8		33.57				27		33.22		
	10		33.59				30		33.35		
	12		33.59				33		33.40		
2	0		33.49				36		33.43		
	2		33.48				39		33.58		
	4		33.46				42		33.64		
3	0		33.69				45		33.82		
	4		33.73			May 23, 1952					
	6		33.80			5	0		32.59		
	8		33.80				5		32.61		
	10		33.82				10		32.86		
	12		33.85				15		33.04		
4	0		33.84				20		33.34		
	3		33.84				0		32.48		
	6		33.80			6	5		32.65		
	9		33.82				10		32.74		
	12		33.84				15		32.99		
	15		33.84				20		33.24		
	18		33.89				25		32.97		
	21		33.87				30		33.40		
	24		33.93				35		34.07		
	27		34.04				40		34.38		
	30		34.02			7	0		32.29		
	33		33.95				5		32.32		
	36		34.09				10		32.03		
	39		34.12				15		33.42		
	42		34.20				20		33.75		
April 8, 1952							25		33.86		
5	0		33.42				30		34.00		
	10		33.42				35		34.40		
	25		34.02				40		34.51		
6	0		33.49				45		34.54		
	5		33.51			8	0		32.25		
	10		33.55				5		32.30		
	25		33.75				10		32.47		
7	0		32.99				15		32.84		
	10		33.33				20		33.39		
	25		33.39				25		33.71		
8	0		33.35				30		34.27		
	10		33.40				35		34.43		
	25		33.95				40		34.52		
	50		34.61				45		34.60		
May 21, 1952							50		34.69		
1	0		32.84				55		34.70		
	2		32.88				60		34.73		
	4		32.88			July 24, 1952					
	6		32.88			1	0	28.9	27.18	14.24	
							4	28.8	27.18	16.31	

Table 1 (Tabla 1), Cont.—No. 2

Sta.	Depth	Temp.	Sal.	σ_t	Oxygen	Sta.	Depth	Temp.	Sal.	σ_t	Oxygen	
(m.)	(m.)	°C	o/oo		ml./L.	(m.)	(m.)	°C	o/oo		ml./L.	
Esta- ción	Prof. (m.)	Temp. °C	Sal. o/oo	σ_t	Oxígeno ml./L.	Esta- ción	Prof. (m.)	Temp. °C	Sal. o/oo	σ_t	Oxígeno ml./L.	
	8	28.6	27.99	16.97	.....		10	28.6	31.89	19.90	.....	
2	0	.....	26.64	.....	.....		15	27.7	32.29	20.49	.....	
	2	.....	26.94	.....	.....		20	27.2	32.74	20.99	.....	
3	0	29.0	26.60	15.80	.....		25	25.7	32.95	21.61	.....	
	4	28.0	28.78	17.76	.....		35	22.7	33.37	22.82	.....	
	10	27.4	30.32	19.10	.....		45	19.8	34.25	24.26	.....	
4	0	27.9	30.73	19.23	.....		55	17.6	34.49	25.01	.....	
	6	.....	31.11	.....	.....		65	16.9	34.72	25.34	.....	
	12	.....	31.17	.....	.....		90	15.3	34.81	25.77	.....	
	18	.....	31.20	.....	.....		115	14.7	34.87	25.95	.....	
	24	.....	31.38	.....	.....		165	.....	34.87	.....	.....	
	33	.....	31.98	.....	.....		265	.....	34.81	.....	.....	
	42	.....	32.05	.....	.....		300	.....	34.72	.....	.....	
July 23, 1952						Sept. 29, 1952						
5	0	28.0	31.67	19.92	.....	1	0	30.1	21.89	11.93	.....	
	5	26.8	31.73	20.34	.....		5	29.1	25.68	15.10	.....	
	10	26.1	31.76	20.58	.....		10	28.6	27.21	16.39	.....	
	15	25.2	32.38	21.32	.....	2	0	30.2	20.30	10.74	.....	
	20	24.1	33.06	22.18	.....		5	.....	25.97	.....	.....	
	25	23.9	33.28	22.40	.....	Oct. 1, 1952						
6	0	28.4	31.58	19.72	.....	3	0	30.0	24.16	13.66	.....	
	5	28.1	31.67	19.88	.....		5	28.1	27.38	16.68	.....	
	10	26.8	32.09	20.62	.....		10	27.3	29.61	18.59	.....	
	15	26.1	32.39	21.07	.....	Sept. 29, 1952						
	20	24.1	32.84	22.01	.....	4	0	29.1	24.81	14.45	.....	
	25	23.2	33.13	22.48	.....		5	27.9	29.14	18.04	.....	
	35	22.7	33.58	22.96	.....		10	27.9	29.81	18.56	.....	
	45	.....	33.87	.....	.....		15	27.7	30.30	19.00	.....	
8	0	27.8	31.42	19.80	.....		20	27.3	30.52	19.29	.....	
	5	27.3	31.71	20.16	.....		25	27.2	31.27	19.87	.....	
	10	26.2	32.41	21.04	.....		35	26.1	32.45	21.10	.....	
	15	26.2	32.43	21.07	.....		45	25.4	32.45	21.31	.....	
	20	25.1	32.43	21.41	.....	Oct. 1, 1952						
	25	24.1	33.53	22.52	.....	5	0	29.4	25.55	14.90	.....	
	35	22.6	33.77	23.15	.....		5	28.3	28.12	17.17	.....	
	45	21.9	33.97	23.49	.....		10	26.9	30.77	19.60	.....	
	55	.....	34.33	.....	.....		15	26.5	31.27	20.09	.....	
	65	.....	34.58	.....	.....		20	26.1	31.65	20.50	.....	
Aug. 29, 1952							25	22.7	.....	.....	.....	
1	0	29.7	26.37	15.41	.....	Oct. 2, 1952						
	5	29.6	27.43	16.24	.....	6	0	27.9	29.09	18.01	.....	
	10	28.7	29.18	17.84	.....		5	27.7	29.63	18.48	.....	
2	0	30.6	26.76	15.39	.....		10	27.5	30.57	19.26	.....	
	5	.....	29.20	.....	.....		15	26.7	30.88	19.75	.....	
3	0	21.3	28.19	16.22	.....		20	24.7	31.55	20.86	.....	
	5	28.1	29.51	18.28	.....		24	24.1	32.56	21.80	.....	
	10	27.5	30.95	19.54	.....		34	23.3	33.35	22.63	.....	
4	0	29.9	29.05	17.34	.....		40	22.7	33.62	22.99	.....	
	5	28.3	30.01	18.57	.....		45	22.3	.....	.....	.....	
	10	27.8	30.17	18.87	.....	Oct. 2, 1952						
	15	26.8	30.62	19.65	.....	7	0	28.6	28.19	17.12	.....	
	20	26.3	31.22	20.12	.....		5	26.6	30.81	19.72	.....	
	25	26.2	31.69	20.51	.....		10	27.0	31.35	20.00	.....	
	35	25.6	32.56	21.34	.....		15	26.8	31.38	20.09	.....	
	45	25.4	32.74	21.53	.....		20	26.8	31.46	20.13	.....	
5	0	28.4	30.90	19.20	.....		24	26.9	31.49	20.14	.....	
	5	27.6	31.08	19.60	.....		34	23.9	32.45	21.77	.....	
	10	26.4	32.10	20.75	.....		44	21.1	33.96	23.69	.....	
	15	25.4	32.45	21.32	.....	Oct. 3, 1952						
Sept. 3, 1952						8	0	28.7	29.49	18.07	.....	
6	0	28.7	30.90	19.11	.....		5	27.3	29.96	18.85	.....	
	5	28.3	31.47	20.68	.....		10	27.2	31.00	19.68	.....	
	10	26.7	31.89	20.51	.....		15	26.6	31.44	20.19	.....	
	15	25.7	32.84	21.52	.....		20	25.8	32.95	21.58	.....	
	20	24.6	33.51	22.38	.....		25	25.2	33.28	22.00	.....	
	25	23.8	33.64	22.70	.....		35	22.9	33.80	23.08	.....	
	35	23.7	33.75	22.80	.....		45	21.1	34.05	23.78	.....	
	40	22.6	34.25	23.50	.....		54	19.4	34.23	24.34	.....	
8	0	29.1	31.11	19.14	.....		64	16.8	34.49	25.19	.....	
	5	28.4	31.58	19.71			9	0	28.2	29.33	18.11	
	10	27.2	32.61	20.87	.....		5	28.4	29.61	18.25	.....	
	15	27.1	32.92	21.16	.....		10	27.4	30.88	19.51	.....	
	20	26.7	33.28	21.54	.....		15	27.3	32.12	20.47	.....	
	25	25.8	33.44	21.93	.....		20	26.9	32.74	21.08	.....	
	35	24.3	33.71	22.59	.....		25	25.2	32.81	21.66	.....	
	45	21.8	34.11	23.61	.....		45	22.0	33.84	23.36	.....	
	55	.....	34.58	.....	.....							
9	0	28.6	31.85	19.87	.....							
	5	28.6	31.85	19.87	.....							

Table 1 (Tabla 1), Cont.—No. 3

Sta.	Depth	Temp.	Sal.	σ_t	Oxygen	Sta.	Depth	Temp.	Sal.	σ_t	Oxygen	
	(m.)	°C	‰		ml./L.		(m.)	°C	‰		ml./L.	
Estación	Prof.	Temp.	Sal.	σ_t	Oxígeno	Estación	Prof.	Temp.	Sal.	σ_t	Oxígeno	
	(m.)	°C	‰		ml./L.		(m.)	°C	‰		ml./L.	
Oct. 27, 1952	54	20.1	34.11	23.08			15	27.8	30.72	19.28		
	64	18.9	34.42	24.61	.....		20	27.7	30.90	19.45	.....	
	87	15.9	34.70	25.55	.....		25	26.8	31.62	20.25	.....	
	112	15.3	34.70	25.69	.....	6	0	28.0	29.63	18.39	.....	
	155	.....	34.70		.....		5	28.0	30.17	18.80	.....	
							10	28.1	30.53	19.03	.....	
	1	0	27.4	22.05	12.92			15	27.9	30.90	19.36	
	2	27.7	23.68	14.05	.....		20	27.7	31.26	19.72	.....	
	5	27.6	25.30	15.28	.....		25	26.6	31.98	20.61	.....	
	10	26.9	27.65	17.24	.....		35	24.9	33.02	21.93	.....	
2	0	28.1	22.05	12.72	.....	7	0	28.6	30.53	18.88	.....	
	5		26.20		.....		5	28.2	30.53	19.01	.....	
							10	28.0	30.72	19.21	.....	
	3	0	28.4	24.22	14.21			15	27.7	31.08	19.58	
	5	26.1	27.47	17.37	.....		20	27.5	31.44	19.91	.....	
4	10	25.1	30.35	19.83	.....		25	27.2	31.98	20.40	.....	
	0	28.2	24.22	14.28	.....		35	25.4	33.06	21.77	.....	
	5	26.4	27.47	17.28	.....		45	24.2	33.24	22.28	.....	
	10	25.4	30.72	20.01	.....	Jan. 23, 1953						
	14	24.7	31.44	20.78			1	0	28.6	29.87	18.39	
Nov. 6, 1952	19	24.3	31.80	21.15	.....		5	28.1	30.07	18.70	.....	
	23	24.3	31.98	21.30	.....		10		30.01		.....	
	32	23.8	32.16	21.58	.....		0		30.05		.....	
	37	23.7	32.34	21.74	.....	2	0		30.34		.....	
	45	23.6	32.52	21.90	.....		5				.....	
	5	0	27.4	25.48	15.47			0	29.1	31.24	19.25	
	5	25.6	29.45	19.02	.....		5	27.2	31.33	19.93	.....	
	9	25.0	32.16	21.22	.....		10	27.1	31.26	19.90	.....	
	14	25.0	32.16	21.22	.....		0	29.6	31.51	19.28	.....	
	18	25.1	32.52	21.46	.....		5	27.9	31.64	19.93	.....	
20	24.8	32.88	21.82	.....		10	27.6	31.76	20.11	.....		
Nov. 6, 1952	6	0	26.5	29.20	18.54			15	27.4	31.76	20.17	
	0	26.4	30.79	19.75	.....		20	27.1	31.82	20.32	.....	
	5	26.4	30.95	19.89	.....		25	26.9	32.04	20.62	.....	
	10	26.6	31.08	19.92	.....		35	26.4	32.39	20.95	.....	
	15	26.6	31.08	19.92	.....		45	26.1	32.39	21.07	.....	
	20	25.9	30.95	20.03	.....	5	0	27.6	32.09	20.36	.....	
	25	21.3	31.47	21.76	.....		5	27.4	32.10	20.44	.....	
	33	20.4	33.96	23.88	.....		10	26.6	32.10	20.70	.....	
	42	16.9	34.56	25.21	.....		15	26.1	32.30	20.99	.....	
	0	27.1	26.20	16.11	.....		20	25.8	32.57	21.29	.....	
7	5	27.1	29.58	18.64	.....		25	25.2	32.57	*21.48	.....	
	10	26.9	30.03	19.04	.....	Feb. 11, 1953						
	15	26.9	30.04	19.04			1	0	29.8	29.54	17.72	
	20	24.6	31.47	20.82	.....		5	26.3	30.72	19.75	.....	
	24	24.1	31.92	21.31	.....		10	26.1	30.88	19.92	.....	
	34	23.8	32.43	21.77	.....		0	28.4	31.06	19.32	.....	
	42	20.4	33.30	23.37	.....		5		30.97		.....	
	52		34.51		.....	3	0	27.9	31.49	19.82	.....	
	0	27.7	29.43	18.35	.....		5	27.7	31.38	19.81	.....	
	5	27.2	29.87	18.82	.....		10	27.6	31.40	19.84	.....	
8	10	26.2	30.68	19.75	.....		0	27.8	31.62	19.94	.....	
	15	25.1	31.17	20.44	.....	4	5	27.8	31.65	19.98	.....	
	20	25.4	32.25	21.16	.....		10	27.7	31.65	19.99	.....	
	25	24.8	33.35	22.17	.....		15	27.2	31.65	19.99	.....	
	35	19.9	34.38	24.34	.....		20	27.2	31.73	20.23	.....	
	44	17.7	34.47	24.96	.....		25	26.8	31.87	20.45	.....	
	53	17.7	34.47	24.96	.....		35	25.8	32.50	21.23	.....	
	63	.....	34.70		.....	5	0	28.8	31.36	19.43	.....	
	Dec. 10, 1952						5	28.7	31.96	19.92	.....	
	1	0	27.8	23.31	13.74			10	28.3	31.64	19.80	
5	28.4	27.83	16.90	.....		15	28.2	31.69	19.88	.....		
10	28.2	29.63	18.34	.....		20	27.7	31.74	20.08	.....		
2	0	28.2	27.83	16.98	.....		25	26.6	31.87	20.52	.....	
3	5		29.09		.....	6	0	28.7	31.40	19.48	.....	
	0	28.0	28.55	17.58	.....		5	28.7	31.40	19.50	.....	
	5	28.2	29.09	17.92	.....		10	28.5	31.36	19.52	.....	
	10	27.7	30.17	18.88	.....		15	28.5	31.44	19.58	.....	
	0	28.2	29.45	18.20	.....		20	28.3	31.36	19.60	.....	
4	5	28.2	29.45	18.20	.....		24	28.2	31.87	20.01	.....	
	10	28.2	30.17	18.72	.....		34	24.7	33.39	22.84	.....	
	15	27.9	30.35	18.95	.....		44		34.13		.....	
	20	27.7	30.53	19.17	.....	7	0	29.0	31.38	19.37	.....	
	25	27.4	31.08	19.67	.....		5	28.4	31.47	19.64	.....	
	35	26.9	31.44	20.08	.....		10	28.2	31.67	19.85	.....	
	44	25.8	32.34	21.11	.....		15	28.2	31.82	19.98	.....	
	Dec. 12, 1952						20	27.5	32.20	20.48	.....	
	5	0	27.4	29.81	18.72			25	26.3	32.59	21.16	
	5	27.9	29.99	18.70	.....		35	23.3	33.08	22.41	.....	
10	28.0	30.72	19.23	.....		45	21.1	34.23	23.91	.....		

Table 1 (Tabla 1). Cont.—No. 4

Sia.	Depth	Temp.	Sal.	σ_t	Oxygen	Sia.	Depth	Temp.	Sal.	σ_t	Oxygen
	(m.)	°C	o/oo		ml./L.		(m.)	°C	o/oo		ml./L.
Estación	Prof.	Temp.	Sal.	σ_t	Oxígeno	Estación	Prof.	Temp.	Sal.	σ_t	Oxígeno
	(m.)	°C	o/oo		ml./L.		(m.)	°C	o/oo		ml./L.
8	0	29.1	30.82	18.92	.....	2	0	30.4	32.65	19.83	.....
	5	28.8	30.96	19.12	.....		5		32.65		.....
	10	28.8	31.09	19.21	.....	3	0	30.3	33.15	20.21	.....
	15	28.3	31.71	19.86	.....		5	29.3	33.15	20.60	.....
	20	27.6	32.05	20.34	.....		10	29.3	33.15	20.59	.....
	25	26.8	32.49	20.91	.....	4	0	30.1	33.10	20.32	.....
	35	22.7	33.31	22.77	.....		5	29.3	33.19	20.62	.....
	45	20.4	34.42	24.22	.....		10	29.3	33.22	20.66	.....
	55	17.9	34.69	25.08	.....		15	29.3	33.22	20.66	.....
	65	16.3	34.97	25.68	.....		20	29.3	33.20	20.62	.....
9	0	28.7	30.62	18.91	.....		25	29.2	33.20	20.75	.....
	5	28.9	30.77	18.95	.....		35	29.0	33.30	20.61	.....
	10	28.2	30.93	19.29	.....	May 7, 1953					
	15	27.7	32.21	20.43	.....						
	20	27.6	32.70	20.82	.....	5	0	29.7	32.75	20.17	.....
	25	27.4	32.86	20.99	.....		5	29.2	33.10	20.59	.....
	35	25.1	33.42	22.15	.....		10	28.8	33.33	20.91	.....
	44	20.1	34.61	24.46	.....		16	28.4	33.33	21.04	.....
	54	17.1	34.79	25.35	.....		20	27.6	33.39	21.35	.....
	61	15.9	34.85	25.68	.....		25	25.9	33.66	22.08	.....
	85	14.9	35.07	26.06	.....	6	0	29.9	32.99	20.26	.....
	94	14.8	35.10	26.12	.....		5	29.3	33.10	20.55	.....
	108	14.5	34.94	26.05	.....		10	29.2	33.17	20.66	.....
	188	.....	34.94	.....	.....		15	28.1	33.22	21.04	.....
March 25, 1953							20	27.2	33.57	21.61	.....
							25	25.6	33.77	22.25	.....
1	0	29.8	31.83	19.45	.....		35	22.9	34.33	23.48	.....
	5	29.3	31.76	19.57	.....	7	0	31.0	33.03	19.93	.....
	10	28.8	31.94	19.86	.....		5	29.8	33.15	20.42	.....
2	0	30.3	32.05	19.42	.....		10	29.3	33.15	20.59	.....
	5		32.16		.....		15	28.6	33.37	20.99	.....
3	0	29.3	32.52	20.12	.....		20	27.7	33.73	21.55	.....
	5	28.5	32.57	20.43	.....		25	27.4	33.97	21.84	.....
	10	28.1	32.70	20.65	.....		35	26.4	34.31	22.40	.....
4	0	28.4	32.95	20.73	.....		45	20.7	34.52	24.22	.....
	5	28.3	32.85	20.70	.....	8	0	30.2	33.21	20.33	.....
	10	28.2	32.81	20.70	.....		5	29.9	33.22	20.44	.....
	15	28.2	32.94	20.81	.....		10	29.6	33.06	20.44	.....
	20	27.9	32.95	20.90	.....		15	29.2	33.62	20.99	.....
	35	27.7	33.01	32.01	.....		20	28.3	34.00	21.57	.....
	40	24.1	33.65	22.62	.....		25	26.7	33.73	21.91	.....
5	0	28.7	32.14	20.05	.....		35	23.7	34.22	23.17	.....
	5	27.8	32.94	20.92	.....		45	21.6	34.56	24.03	.....
	10	27.0	33.44	21.58	.....		55	29.9	34.67	24.55	.....
	15	26.0	33.24	21.73	.....		65	18.2	34.81	25.10	.....
	25	.....	33.49	.....	.....	9	0	29.7	33.51	20.74	.....
6	0	28.6	33.35	.....	.....		5	29.7	33.57	20.77	.....
	5	27.9	32.74	20.54	.....		10	29.7	33.84	20.99	.....
	10	27.4	33.12	21.02	.....		15	29.3	33.95	21.19	.....
	15	24.3	33.37	22.33	.....		20	27.1	34.14	22.06	.....
	20	24.3	33.85	22.71	.....		24	24.3	34.36	23.08	.....
	25	23.2	34.21	23.29	.....		34	22.9	34.40	23.52	.....
	35	20.3	34.74	24.50	.....		44	21.1	34.63	24.20	.....
7	0	27.9	33.26	21.15	.....		53	19.3	34.63	24.69	.....
	5	27.7	33.30	21.25	.....		63	17.9	34.81	25.17	.....
	10	27.4	33.26	21.29	.....		87	16.1	34.90	25.66	.....
	15	26.9	33.39	21.55	.....		112	14.8	34.94	25.99	.....
	20	26.4	33.71	21.96	.....		160	.....	34.94	.....	.....
	25	22.9	34.29	23.43	.....	June 18, 1953					
	35	20.7	34.60	24.29	.....						
	44	19.0	34.67	24.79	.....	1	0	28.7	26.35	15.71	.....
	54		34.74		.....		5	28.2	27.52	16.76	.....
9	0	29.6	33.12	20.49	.....		10	27.3	28.91	18.08	.....
	5	29.7	33.21	20.50	.....	2	0	29.0	25.68	15.12	.....
	10	28.2	33.79	21.44	.....		5		27.32		.....
	15	27.8	33.82	21.58	.....	3	0	28.7	27.25	14.89	.....
	20	27.4	33.96	21.83	.....		5	27.4	29.09	18.18	.....
	25	26.4	33.69	21.95	.....		10	26.7	30.68	19.58	.....
	35	24.2	34.00	22.84	.....	4	0	29.0	28.37	17.12	.....
	45	20.8	34.13	23.90	.....		5	27.8	29.88	18.63	.....
	54	18.7	34.05	24.40	.....		10	26.9	21.18	19.89	.....
	64	17.8	34.18	24.72	.....		15	26.3	31.58	20.28	.....
	87	16.7	34.76	25.42	.....		19	26.2	31.71	20.53	.....
	112	.....	35.08	.....	.....		24	25.9	31.85	20.70	.....
	155	.....	35.16	.....	.....		34	25.6	32.81	21.54	.....
April 30, 1953							43	25.4	32.83	21.59	.....
						5	0	29.1	29.00	17.58	.....
1	0	31.1	32.75	19.70	.....		5	26.6	31.58	20.31	.....
	5	30.6	32.65	19.79	.....		10	26.1	32.54	21.17	.....
	10	30.3	32.75	19.95	.....		15	26.0	32.74	21.35	.....
							20	25.9	32.83	21.44	.....

Table 1 (Tabla 1), Cont.—No. 5

Sta.	Depth	Temp.	Sal.	σ_t	Oxygen	Sta.	Depth	Temp.	Sal.	σ_t	Oxygen	
	(m.)	°C	o/oo		ml./L.		(m.)	°C	o/oo		ml./L.	
Esta- ción	Prof. (m.)	Temp. °C	Sal. o/oo	σ_t	Oxígeno ml./L.	Esta- ción	Prof. (m.)	Temp. °C	Sal. o/oo	σ_t	Oxígeno ml./L.	
6	24	24.8	33.22	22.08	.....	8	45	23.2	34.58	23.57	.....	
	0	28.7	30.90	19.12	.....		0	29.1	32.12	19.89	.....	
	5	27.2	31.35	19.93	.....		5	28.8	32.07	19.95	.....	
	10	27.5	31.92	20.27	.....		10	28.4	32.25	20.23	.....	
	15	25.9	32.83	21.44	.....		15	28.2	32.10	20.17	.....	
	20	25.1	33.44	22.15	.....		20	28.1	32.39	20.42	.....	
	25	24.6	33.58	22.41	.....		25	27.7	32.66	20.73	.....	
June 22, 1953	35	23.6	34.07	23.07	.....		35	26.4	33.87	22.08	.....	
	44				.....		44	22.9	34.43	23.55	.....	
	54				.....		54	21.1	34.74	24.30	.....	
	64				.....		64	18.5	34.92	25.10	.....	
												
7	0	29.3	29.30	17.71	.....	July 30, 1953					.....	
	5	28.2	32.63	20.56	.....						.....	
8	10	26.7	33.46	21.67	.....	9	0	29.3	32.36	20.00	.....	
	15	26.1	33.89	22.18	.....		5	29.1	32.47	20.15	.....	
	20	26.8	34.13	22.16	.....		10	28.3	33.21	20.96	.....	
	25	26.5	34.33	22.39	.....		15	28.1	33.35	21.14	.....	
	35	23.8	34.40	23.26	.....		20	27.5	33.51	21.46	.....	
	45	22.7	34.50	23.67	.....		25	26.8	33.61	21.76	.....	
	0	28.9	29.36	17.88	.....		35	25.3	34.40	22.81	.....	
	5	28.4	31.42	19.59	.....		45	23.2	34.58	23.59	.....	
	10	27.9	31.89	20.10	.....		55	21.1	34.63	24.20	.....	
	15	26.8	31.91	20.47	.....		65	20.7	34.74	24.40	.....	
9	20	26.7	32.66	21.08	.....		95	17.1	34.74	25.32	.....	
	25	26.9	33.49	21.62	.....	164	.....	34.96	.....	.....		
	35	25.7	34.43	22.71	.....	Sept. 25, 1953					.....	
	45	24.3	34.50	23.20	.....						.....	
	54	22.1	34.60	23.90	.....						.....	
	64	20.2	34.74	24.54	.....	1	0	31.1	28.40	16.44	.....	
	0	28.4	31.96	19.99	.....	5	30.9	28.71	16.75	.....		
	5	28.4	32.07	20.07	.....	10	30.8	28.84	16.88	.....		
	10	28.8	33.42	20.97	.....	Sept. 23, 1953					.....	
	15	28.6	33.87	21.37	.....						.....	
	20	28.4	34.11	21.60			4	0	29.9	31.06	18.84	
24	27.7	34.22	21.92	.....	5		29.3	31.60	19.43	.....		
34	24.7	34.33	22.96	.....	10		29.3	31.64	19.48	.....		
43	23.8	34.51	23.36	.....	15		29.1	31.64	19.53	.....		
53	23.2	34.79	23.73	.....	20		29.1	31.36	19.34	.....		
61	22.1	34.79	24.05	.....	25		28.9	31.66	19.60	.....		
85	19.3	35.00	24.97	.....	35		25.7	31.92	20.82	.....		
100	17.3	35.00	25.45	.....	45		.....	33.75	.....	.....		
July 21, 1953	160	.....	35.00	.....	.....	5	0	30.2	31.17	18.47	.....	
					.....	5	29.1	31.40	19.37	.....		
					.....	10	28.6	31.85	19.87	.....		
					.....	15	28.2	32.16	20.23	.....		
					.....	20	27.9	32.57	20.63	.....		
	1	0	30.1	28.89	17.14		7	0	29.0	30.93	19.04	
		5	29.4	28.33	16.97			5	28.5	31.73	19.80	
	2	10	28.4	29.76	18.36	.....	10	28.1	32.36	20.40	.....	
		5	.....	27.39	.....	.....	15	27.4	32.75	20.92	.....	
	3	0	.....	28.95	.....	.....	20	27.0	33.30	21.46	.....	
5		29.4	27.00	15.98	.....	25	26.8	33.48	21.65	.....		
4	5	28.8	27.95	16.88	.....	35	26.3	33.96	22.17	.....		
	10	27.9	31.27	19.65	.....	44	24.3	34.34	23.07	.....		
5	0	28.8	29.31	17.90	.....	8	0	28.9	31.60	19.56	.....	
	5	28.5	30.32	18.74	.....		5	28.8	32.12	20.00	.....	
	10	28.4	31.20	19.42	.....		10	28.7	32.95	20.64	.....	
	15	28.1	31.53	19.78	.....		15	28.8	33.17	20.79	.....	
	20	28.9	32.47	20.87	.....		20	28.0	33.58	21.35	.....	
	25	26.6	32.66	21.12	.....		25	27.4	33.95	21.81	.....	
	35	26.1	33.06	21.58	.....		35	23.8	34.61	23.43	.....	
	45	26.0	33.28	21.76	.....		44	22.3	34.87	24.06	.....	
	0	28.7	30.99	19.19	.....		53	20.8	35.26	24.77	.....	
	6	5	28.2	31.71	19.89			61	20.0	35.30	25.01	
10		26.9	32.59	20.96	.....	Nov. 24, 1953					.....	
15		26.6	33.01	21.37			1	0	30.2	28.95	17.14	
20		26.1	33.51	21.90	.....		5	.....	29.18	.....	.....	
25		25.7	33.64	22.13	.....		10	.....	29.31	.....	.....	
							4	0	27.3	31.40	19.94	
					.....		5	27.4	31.40	19.90	.....	
					.....		10	27.5	31.47	19.93	.....	
					.....		15	27.4	31.58	20.05	.....	
					.....		20	27.3	31.58	20.08	.....	
				.....	25		27.2	31.64	20.16	.....		
July 25, 1953	0	28.0	30.99	19.19	.....		35	27.1	31.71	20.23	.....	
	5	28.2	31.71	19.89	.....		45	26.8	31.87	20.44	.....	
	10	26.9	32.59	20.96	.....		55	.....	32.07	.....	.....	
	15	26.6	33.01	21.37	.....	5	0	27.3	31.40	20.95	.....	
	20	26.1	33.51	21.90	.....		5	27.2	31.49	20.05	.....	
	25	25.7	33.64	22.13	.....		10	26.9	31.69	20.27	.....	
					.....		15	26.7	32.02	20.60	.....	
					.....		20	25.8	32.29	21.07	.....	
												
												
												
												
												

Table 1 (Tabla 1), Cont.—No. 6

Sta.	Depth	Temp.	Sal.	σ _t	Oxygen	Sta.	Depth	Temp.	Sal.	σ _t	Oxygen
	(m.)	°C	o/oo		ml./L.		(m.)	°C	o/oo		ml./L.
Esta-	Prof.	Temp.	Sal.	σ _t	Oxigeno	Esta-	Prof.	Temp.	Sal.	σ _t	Oxigeno
ción	(m.)	°C	o/oo		ml./L.	ción	(m.)	°C	o/oo		ml./L.
	25		32.66			April 12, 1954					
7	0	27.9	31.62	29.92		1	0	30.1	33.03	20.23	
	5		31.80				5	30.1	33.03	20.23	
	10		31.80				10		33.12		
	15		31.80			4	0	28.9	33.84	21.25	
	20	27.2	31.60	20.13			5	25.4	33.87	22.38	
	24	27.1	31.80	20.30			10	24.6	33.98	22.71	
	34	25.4	32.95	21.70			15	24.3	33.98	22.79	
	43	23.2	34.05	23.17			20	23.7	34.05	23.03	
8	0	28.2	31.36	19.62			35	19.6	34.33	24.37	
	5	27.8	31.47	19.82			45		34.67		
	10	27.5	31.64	20.06			5	0	27.3	34.00	21.88
	15	27.4	31.73	20.16			5	27.4	34.02	21.88	
	20	27.1	31.89	20.38			10	27.3	34.00	21.88	
	25	26.8	32.09	20.62			15	27.1	34.00	21.95	
	35	25.2	33.21	20.44			20	26.4	33.96	22.15	
	45	22.3	34.09	23.46			25		34.14		
	55	19.8	34.63	24.54		7	0	27.4	34.02	21.86	
	65		34.83				5	27.1	34.09	22.02	
Dec. 18, 1953							10	27.0	34.20	22.14	
1	0	27.9	31.68	19.96			15	26.6	34.22	22.28	
	5	27.9	31.73	20.00			20	24.2	34.16	22.96	
	10	27.9	31.76	20.02			25	20.4	34.36	24.19	
4	0	27.7	31.40	19.82			35	16.8	34.94	25.53	
	5	27.7	31.53	19.82			45		35.05		
	10	27.6	31.72	20.08		8	0	28.3	34.02	21.57	
	15	27.6	31.73	20.09			5	27.9	34.02	21.70	
	20	27.5	31.86	20.22			10	26.7	34.07	22.13	
	25	27.5	31.72	20.12			15	25.2	34.38	22.83	
	35	27.5	31.89	20.24			20	24.6	34.27	22.94	
	45		32.21				25	21.8	34.60	23.98	
5	0	27.6	31.50	19.92			35	18.4	34.97	25.17	
	5	27.6	31.75	20.10			45	16.0	35.07	25.83	
	10	27.6	31.90	20.22			55	15.0	35.07	26.04	
	15	27.6	31.91	20.24			65		35.12		
	20	27.6	31.95	20.27		June 10, 1954					
7	0	28.2	31.71	19.88		1	0	31.1	17.21	8.47	
	5	27.9	32.02	20.20			5	28.8	23.69	13.69	
	10	27.7	32.28	20.47			10		31.08		
	15	27.7	32.15	19.95		June 9, 1954					
	20	27.6	32.42	20.61		4	0	27.9	31.46	19.80	
	25	27.4	32.42	20.66			5	27.6	31.82	20.17	
	35	26.0	32.62	21.26			10	26.8	31.89	20.46	
	45	25.4	33.59	22.18			15	25.9	32.63	21.31	
Feb. 24, 1954							20	24.3	32.68	21.83	
1	0	28.4	31.83	19.89			25	23.6	33.30	22.51	
	5	28.4	31.91	19.96			35	23.2	33.64	22.88	
	10	27.9	32.29	20.42			45		33.71		
4	0	27.9	33.31	21.17		5	0	28.3	31.06	19.35	
	5	26.9	33.03	21.29			5	27.8	31.47	19.84	
	10	26.1	33.24	21.71			10	26.8	32.09	20.62	
	15	25.4					15	25.6	33.06	21.71	
	20	25.1	33.28	22.03			20	25.2	33.06	21.85	
	25	24.9	32.99	21.88			5	28.6	32.29	20.20	
	35	21.6	34.42	23.91			5	27.6	32.43	20.61	
Feb. 25, 1954							10	26.4	32.77	21.24	
5	0	27.4	32.92	21.05			15	26.0	33.35	21.81	
	5	27.1	33.03	21.22			20	25.0	33.51	22.24	
	10	26.6	33.01	21.38			25	24.1	33.73	22.67	
	15	25.6	33.10	21.75			35	21.8	34.02	23.54	
	20	22.2	33.22	22.83			45	20.2	34.58	24.40	
7	0	28.1	33.01	20.90			0	28.4	32.63	20.49	
	5	28.0	33.04	20.94			5	27.7	32.68	20.78	
	10	27.3	33.04	21.16			10	26.9	32.92	21.20	
	15	23.8	33.64	22.97			15	26.4	32.97	21.39	
	20	22.6	33.95	23.27			20	25.1	33.10	21.91	
	25	20.8	34.45	24.16			25	25.0	33.71	22.39	
	35	16.4	34.85	25.56			35	23.8	34.31	23.21	
	45		34.97				45	20.4	34.70	24.44	
8	0	27.6	32.81	20.90			55	17.6	34.92	25.34	
	5	27.4	32.94	21.07			65	16.4	34.88	25.57	
	10	26.1	32.95	21.48		Sept. 23, 1954					
	15	21.2	33.71	23.48		1	0	29.8	20.14	10.74	
	20	19.3	34.60	24.65			5	28.7	25.70	15.22	
	25	18.2	34.87	25.15			10	28.1	28.04	17.18	
	35	15.8	34.87	25.70		Sept. 22, 1954					
	45		35.05			4	0	28.6	26.85	16.13	
	55		35.05				5	28.0	29.55	18.33	
	65		35.08								

Table 1 (Tabla 1), Cont.—No. 7

Sta.	Depth	Temp.	Sal.	σ_t	Oxygen	Sta.	Depth	Temp.	Sal.	σ_t	Oxygen
	(m.)	°C	‰		ml./L.		(m.)	°C	‰		ml./L.
Estación	Prof.	Temp.	Sal.	σ_t	Oxígeno	Estación	Prof.	Temp.	Sal.	σ_t	Oxígeno
	(m.)	°C	‰		ml./L.		(m.)	°C	‰		ml./L.
	10	27.1	30.62	19.43	.....		5	26.9	33.06	21.32	
	15	26.8	31.18	19.92	.....		10	26.6	33.03	21.40	
	19	26.3	31.74	20.50	.....		15	26.6	33.06	21.42	
	24	25.3	32.16	21.14	.....		20	26.5	33.08	21.45	
	33	24.3	33.01	22.06	.....	March 1, 1955					
	42	24.0	32.90	22.08	.....						
5	0	28.6	28.01	17.00	.....	7	0	28.6	33.08	20.78	
	5	27.9	30.19	18.84	.....		5	28.7	33.06	20.72	
	10	27.3	31.76	20.22	.....		10	28.6	22.19	20.86	
	15	25.9	32.32	21.07	.....		15	28.4	33.28	21.32	
	19	24.9	32.75	21.70	.....		20	28.1	33.33	21.14	
	24	24.7	33.30	22.16	.....		25	27.7	33.24	21.19	
7	0	27.6	30.59	19.25	.....		35	26.4	33.28	21.64	
	5	27.1	31.26	19.91	.....		45	25.9	33.19	21.71	
	10	26.9	32.75	21.08	.....	8	0	28.0	33.04	20.94	
	15	25.8	31.96	20.84	.....		5		32.77		
	19	26.4	32.77	21.85	.....		10	28.1	33.19	21.04	
	24	23.1	32.94	22.36	.....		15	27.7	33.42	21.32	
	34	21.6	34.00	23.59	.....		20	27.6	33.44	21.39	
	44		34.40		.....		25	27.4	33.39	21.39	
8	0	27.3	30.57	19.21	.....		35	27.1	33.40	21.52	
	5	27.1	30.75	19.56	.....		45	24.6	33.68	22.18	
	10	27.9	31.71	19.98	.....		55	21.4	34.04	23.66	
	15	26.8	32.12	20.63	.....		65	19.1	34.54	24.66	
	20	25.7	32.29	21.10	.....	April 21, 1955					
	25	25.4	32.81	21.58	.....	1	0	29.8	33.60	20.76	
	35	22.4	33.17	22.73	.....		5	29.1	33.80	21.16	
	45	20.3	33.51	23.58	.....		10		33.90		
	55	19.3	34.65	24.69	.....	4	0	29.1	33.11	20.65	
	65		34.79		.....		5	28.7	33.67	21.18	
Dec. 2, 1954							10	28.7	33.74	21.25	
1	0	28.0	22.35	12.96	.....		15	28.3	33.81	21.43	
	5	27.2	25.73	15.74	.....		20	27.9	34.02	21.70	
	10		28.57		.....		25	27.8	34.07	21.77	
Dec. 1, 1954							35		34.14	21.84	
							45		34.24		
4	0	26.8	28.42	17.87	.....	April 22, 1955					
	5	26.8	28.78	18.12	.....	5	0	29.5	33.70	20.94	
	9	26.6	29.17	28.50	.....		5	28.7	33.79	21.27	
	14	26.3	30.64	19.68	.....		10	28.2	33.84	21.49	
	19	26.2	30.68	19.74	.....		15	27.6	33.90	21.73	
	24	26.2	31.16	20.11	.....		20	26.9	34.32	22.26	
	33	25.4	32.04	21.01	.....		25		34.20		
5	0	27.6	30.80	19.39	.....		7	0	29.7	33.64	20.84
	5	26.9	31.05	19.79	.....		5	29.3	33.64	20.96	
	10	26.2	31.41	20.29	.....		10	29.1	33.70	21.09	
	15	25.1	31.85	20.96	.....		15	28.9	33.59	21.06	
	20	24.7	32.37	21.46	.....		20	24.5	34.26	22.96	
7	0	26.6	31.14	19.98	.....		25	23.7	34.46	23.34	
	5	26.6	31.17	19.98	.....		35	23.0	34.87	23.86	
	10	26.6	21.35	20.12	.....		45		35.14		
	15	26.4	31.56	20.33	.....		8	0	29.2	33.52	20.90
	20	26.3	31.86	20.61	.....		5	29.2	33.62	20.98	
	25	25.7	32.13	20.98	.....		10	29.1	33.64	21.04	
	35	22.8	34.19	23.39	.....		15	28.7	33.66	21.17	
	45		34.46		.....		20	28.4	33.68	21.28	
Dec. 1, 1954							25	28.3	33.73	21.37	
8	0	26.5	31.29	20.11	.....		35	25.9	34.40	22.62	
	5	26.3	31.59	20.40	.....		45	21.6	35.05	24.40	
	10	25.9	31.95	20.79	.....		55	19.1	35.28	25.23	
	15	25.8	32.01	20.86	.....		65	18.5	35.36	25.44	
	20	25.7	32.68	21.41	.....	May 24, 1955					
	25	25.4	33.27	21.94	.....	1	0	31.3	33.81	20.41	
	35	21.9	34.01	23.50	.....		5	30.8	33.70	20.51	
	45	19.3	34.39	24.49	.....		4	0	29.5	33.81	21.02
	55	18.9	34.49	24.68	.....		5	28.9	34.01	21.38	
	65	17.4	34.76	25.24	.....		10	28.6	33.82	21.35	
Feb. 28, 1955							15	28.4	33.86	21.42	
1	0	29.7	31.38	19.15	.....		20	28.4	33.83	21.39	
	5	29.5	31.42	19.24	.....		25		33.81		
	10		31.56		.....		5	0	28.7	33.46	21.02
4	0	27.3	32.99	21.12	.....		5	28.3	33.42	21.14	
	5	27.1	32.77	21.03	.....		10	28.2	33.74	21.40	
	10	27.1	32.95	21.16	.....		15	27.7	33.86	21.67	
	15	27.1	32.88	21.11	.....		20	24.1	34.20	23.02	
	20	27.1	32.94	21.16	.....	May 25, 1955					
	25	27.1	33.03	21.22	.....						
	35		32.95		.....		0	27.4	33.93	21.80	
5	0	27.7	33.04	21.05	.....		5	27.1	33.98	21.94	

Table 1 (Tabla 1), Cont.—No. 8

Sta.	Depth	Temp.	Sal.	σ_t	Oxygen	Sta.	Depth	Temp.	Sal.	σ_t	Oxygen
(m.)	(m.)	°C	°/oo		ml./L.	(m.)	(m.)	°C	°/oo		ml./L.
Esta- ción	Prof. (m.)	Temp. °C	Sal. °/oo	σ_t	Oxígeno ml./L.	Esta- ción	Prof. (m.)	Temp. °C	Sal. °/oo	σ_t	Oxígeno ml./L.
	10	26.3	34.23	22.39	.....		25	23.2	33.92	23.07	.....
	15	25.7	34.24	22.58	.....		35	21.6	34.25	23.79	.....
	20	25.6	34.28	22.65	.....		45		34.10		.....
	25	25.4	34.26	22.67	.....	8	0	27.6	30.34	19.06	.....
	35	24.0	34.18	23.04	.....		5	27.1	30.30	19.19	.....
	45		34.39		.....		10	27.5	31.58	20.01	.....
8	0	27.9	33.61	21.41	.....		15	25.0	32.75	21.67	.....
	5	27.9	33.58	21.39	.....		20	24.1	33.32	22.36	.....
	10	27.8	34.11	21.82	.....		25	23.7	33.55	22.65	.....
	15	26.6	34.04	22.16	.....		35	21.6	34.25	23.78	.....
	20	26.6	34.29	23.33	.....		45	20.2	34.66	24.48	.....
	25	25.4	34.36	22.76	.....		55	17.7	34.81	25.23	.....
	35	23.1	34.80	23.78	.....		65	16.3	34.88	25.48	.....
	45	20.9	34.97	24.51	.....						
	55	18.8	35.25	25.27	.....						
July 8, 1955						Nov. 4, 1955					
1	0	29.3	18.32	9.55	.....	1	0	26.0	20.80	12.41	.....
	5	28.2	27.36	16.62	.....		5	25.9	21.17	12.70	.....
	10		29.89		.....		10		20.67		.....
4	0	27.6	31.18	29.68	.....	4	0	25.7	29.16	18.77	.....
	5	27.1	31.32	19.94	.....		5	25.7	29.60	19.08	.....
	10	26.3	32.07	20.75	.....		10	25.6	29.88	19.32	.....
	15	25.7	32.16	21.00	.....		15	25.4	29.97	19.46	.....
	20	24.8	32.57	21.58	.....		20	24.9	29.86	19.53	.....
	25	23.7	33.03	22.26	.....		25	24.3	30.01	19.90	.....
	35	23.6	33.94	22.98	.....	5	35	23.6	30.62	20.47	.....
	45		34.11		.....		0	25.7	26.83	17.02	.....
July 7, 1955							5	25.0	28.85	18.73	.....
5	0	26.8	32.91	21.24	.....		10	25.4	30.22	19.65	.....
	5	25.7	33.01	21.64	.....		15	24.7	30.39	19.99	.....
	10	25.3	33.31	21.99	.....		20	24.1	30.97	20.59	.....
	15	24.1	33.76	22.71	.....		25	24.1	31.17	20.76	.....
	20	23.3	34.34	23.36	.....	7	0	25.9	29.85	19.20	.....
	25	22.2	34.64	23.90	.....		5	25.8	29.98	19.35	.....
	35		35.07		.....		10	25.6	30.37	19.71	.....
7	0	27.4	31.75	20.48	.....		15	25.4	30.40	19.78	.....
	5	25.6	32.44	21.26	.....		20	25.2	30.70	20.06	.....
	10	25.3	33.65	22.26	.....		25	24.9	30.82	20.23	.....
	15	24.4	33.91	22.72	.....		35	23.5	32.09	21.61	.....
	20	23.6	34.69	23.56	.....	8	43	20.7	33.93	23.79	.....
	25	22.1	34.92	24.16	.....		0	26.6	29.97	19.10	.....
	35	20.6	35.28	24.84	.....		5	25.9	29.88	19.24	.....
	45	18.9	35.31	25.30	.....		10	25.6	30.37	19.71	.....
8	0	27.3	32.17	20.51	.....		15	25.6	30.49	19.78	.....
	5	25.7	33.06	21.68	.....		20	25.9	30.68	19.84	.....
	10	24.7	34.13	22.81	.....		25	24.4	31.55	20.93	.....
	15	24.7	34.75	23.27	.....		35	23.2	33.07	22.96	.....
	20	24.2	34.86	23.51	.....		45	21.0	34.27	23.96	.....
	25	24.2	34.13	22.96	.....		55	19.0	34.66	24.78	.....
	35	23.4	34.88	23.74	.....		64	17.9	34.79	25.14	.....
	45	22.4	34.94	24.07	.....	Dec. 20, 1955					
	55	20.4	35.28	24.89	.....	1	0	28.2	27.16	16.48	.....
	65	17.2	35.54	25.90	.....		5		27.48		.....
Sept. 28, 1955							10		28.69		.....
1	0	29.6	15.18	7.12	.....		0	27.1	29.92	18.89	.....
	5	28.1	23.80	14.00	.....		5	26.9	29.94	18.98	.....
	10	25.3	27.33	17.52	.....		10	26.6	30.72	19.66	.....
4	0	27.9	23.28	13.68	.....		15	26.3	30.72	19.75	.....
	5	26.7	25.79	15.92	.....		20	26.2	31.38	20.28	.....
	10	25.1	28.50	18.44	.....	5	25	25.9	31.56	20.50	.....
	15	24.1	31.19	20.76	.....		0	26.7	30.16	19.19	.....
	20	23.9	31.86	21.32	.....		5	26.7	29.63	18.90	.....
	25	23.6	32.10	21.59	.....		10	26.3	30.72	19.75	.....
	35	23.1	32.86	22.30	.....		15	25.9	30.99	20.06	.....
	45	22.6	33.63	23.04	.....		20	25.7	31.09	20.20	.....
Sept. 27, 1955							25	25.5	31.71	20.73	.....
5	0	27.3	26.45	16.24	.....		35	25.2	32.79	21.65	.....
	5	26.9	26.50	16.39	.....	7	0	27.0	30.68	19.50	.....
	10	24.9	30.15	19.74	.....		5	26.7	30.77	19.67	.....
	15	23.8	32.04	21.48	.....		10	26.7	31.04	19.87	.....
	20	23.5	32.87	22.20	.....		15	26.7	31.11	19.92	.....
	25	22.9	33.43	22.80	.....		20	26.7	30.97	19.82	.....
7	0	27.7	29.05	18.05	.....		25	24.1	31.37	20.91	.....
	5	27.6	28.82	17.93	.....		35	22.1	33.13	22.79	.....
	10	27.2	33.25	21.37	.....	8	0	26.8	30.72	19.58	.....
	15	25.6	33.66	22.18	.....		5	26.7	30.64	19.57	.....
	20	24.1	33.77	22.72	.....		10	26.7	31.06	19.88	.....
							15	26.1	31.09	20.08	.....
							20	25.4	31.65	20.71	.....
							25	25.2	32.25	21.24	.....
							35	23.0	33.28	22.65	.....

Table 1. (Tabla 1). Cont.—No. 9

Sta.	Depth	Temp.	Sal.	σ_t	Oxygen	Sta.	Depth	Temp.	Sal.	σ_t	Oxygen
	(m.)	°C	‰		ml./L.		(m.)	°C	‰		ml./L.
Estación	Prof.	Temp.	Sal.	σ_t	Oxígeno	Estación	Prof.	Temp.	Sal.	σ_t	Oxígeno
	(m.)	°C	‰		ml./L.		(m.)	°C	‰		ml./L.
	45	20.8	33.98	23.80	.....	May 23, 1956					
	55	16.8	34.33	25.07	.....	4	0	28.8	32.19	20.04	
	65	.....	34.81	.....	.....		5	28.8	32.06	19.96	
Feb. 21, 1956							10	28.7	32.02	19.96	
1	0	29.1	30.72	18.84	.....		15	28.7	32.10	20.02	
	5	28.6	30.61	18.93	.....		20	28.5	32.20	20.15	
Feb. 20, 1956							25	28.3	32.20	20.22	
4	0	28.3	31.82	19.94	.....		35	28.2	32.58	20.51	
	5	27.7	32.00	20.27	.....		45	.....	32.95	.....	
	10	27.6	31.92	20.25	.....	5	0	28.8	32.08	19.97	
	15	27.5	32.07	20.38	.....		5	28.6	32.29	20.20	
	20	27.5	32.07	20.38	.....		10	28.5	32.28	20.21	
	25	27.5	32.01	20.33	.....		15	28.4	32.45	20.36	
	35	26.8	32.05	20.58	.....		20	.....	32.48	.....	
	0	28.3	31.94	21.03	.....		25	.....	32.69	.....	
5	5	28.2	31.91	20.04	.....	May 24, 1956					
	10	27.6	31.93	20.24	.....	7	0	28.7	32.29	20.16	
	15	27.2	32.09	20.50	.....		5	28.6	32.30	20.21	
	20	26.8	32.12	20.64	.....		10	28.6	32.31	20.22	
	25	.....	32.39	.....	.....		15	28.2	32.64	20.59	
7	0	28.6	31.91	19.92	.....		20	27.8	32.78	20.82	
	5	28.2	32.01	20.12	.....		25	27.7	32.98	21.01	
	10	27.7	31.89	20.19	.....		35	26.4	33.26	21.62	
	15	27.1	31.76	20.29	.....		44	.....	34.28	.....	
	20	26.1	32.32	21.00	.....	8	0	28.6	32.25	20.17	
	25	25.7	32.56	21.32	.....		5	28.6	32.36	20.18	
	35	23.2	33.37	22.66	.....		10	28.6	32.31	20.14	
	45	21.5	33.68	23.38	.....		15	27.9	32.48	20.54	
8	0	28.3	31.82	19.92	.....		20	27.2	32.97	21.14	
	5	28.0	32.03	20.19	.....		25	26.6	33.10	21.45	
	10	27.7	32.25	20.44	.....		35	24.6	33.68	22.48	
	15	27.8	32.09	20.30	.....		45	21.9	34.25	23.69	
	20	27.1	32.16	20.57	.....		55	21.3	34.35	23.94	
	25	26.6	32.34	20.86	.....		65	.....	34.41	.....	
	35	25.1	32.65	21.56	.....	July 18, 1956					
	45	21.2	33.78	23.53	.....	1	0	28.4	24.94	15.49	
	55	20.0	34.11	24.10	.....		5	27.9	28.48	17.55	
	65	17.1	34.55	25.17	.....	July 20, 1956					
April 25, 1956						4	0	27.4	30.83	19.47	
1	0	30.5	32.48	19.69	.....		5	27.1	31.23	20.62	
	5	29.7	32.53	19.97	.....		10	27.1	31.42	20.77	
April 27, 1956							15	27.1	31.91	21.13	
4	0	29.1	33.13	20.65	.....		20	26.9	32.08	20.58	
	5	29.1	32.98	20.53	.....		25	26.6	32.46	20.97	
	10	29.1	33.19	20.69	.....		35	26.6	32.46	20.97	
	15	29.1	33.02	20.58	.....		45	.....	32.45	.....	
	20	29.0	33.32	20.83	.....	5	0	27.7	31.00	19.52	
	25	28.6	33.20	20.87	.....		5	27.6	31.26	19.75	
	35	27.9	33.40	20.79	.....		10	27.4	31.72	20.15	
5	0	29.3	33.25	20.68	.....		15	27.2	31.84	20.31	
	5	28.7	33.32	20.92	.....		20	26.8	32.65	31.03	
	10	28.3	33.14	20.91	.....		25	26.6	32.88	21.28	
	15	28.3	33.28	21.03	.....		35	.....	33.21	.....	
	20	.....	33.26	.....	.....		45	.....	33.96	.....	
	0	29.4	32.72	20.23	.....	7	0	27.8	31.32	19.73	
	5	29.0	32.96	20.56	.....		5	27.9	31.53	19.85	
	10	28.4	33.27	20.97	.....		10	27.7	31.93	20.22	
	15	26.2	33.50	21.86	.....		15	27.9	32.16	20.30	
	20	25.8	33.56	22.04	.....		20	28.0	32.36	20.44	
	25	25.2	33.64	22.28	.....		25	27.8	32.95	20.95	
	35	23.7	33.75	22.80	.....		35	25.9	33.34	21.84	
	0	29.9	33.01	20.28	.....		45	.....	33.96	.....	
8	5	29.6	33.02	20.40	.....		0	27.6	32.05	20.34	
	10	29.4	32.91	20.37	.....		5	27.2	31.95	20.38	
	15	29.2	33.10	20.60	.....		10	26.8	32.12	20.63	
	20	28.6	33.32	20.97	.....		15	26.9	32.82	21.14	
	25	25.7	33.57	22.08	.....		20	26.9	32.99	21.25	
	35	23.0	33.80	23.05	.....		25	25.9	33.24	21.75	
	45	19.4	34.25	24.37	.....		35	25.4	33.60	22.19	
	55	17.7	34.52	25.00	.....		45	23.8	33.88	22.87	
	65	17.1	34.58	25.20	.....		55	22.9	33.99	23.22	
							65	.....	34.19	.....	
May 22, 1956						Sept. 24, 1956					
1	0	29.8	32.32	19.82	.....	1	0	29.2	24.88	14.45	
	5	29.6	32.31	19.86	.....		5	28.5	24.74	14.58	
	10	.....	32.27	.....	.....		10	.....	27.23	14.58	

Table 1 (Tabla 1), Cont.—No. 10

Sta.	Depth	Temp.	Sal.	σ_t	Oxygen	Sta.	Depth	Temp.	Sal.	σ_t	Oxygen
(m.)	°C	‰	‰		ml./L.	(m.)	°C	‰	‰		ml./L.
Estación	Prof.	Temp.	Sal.	σ_t	Oxígeno	Estación	Prof.	Temp.	Sal.	σ_t	Oxígeno
(m.)	°C	‰	‰		ml./L.	(m.)	°C	‰	‰		ml./L.
Sept. 25, 1956											
8	0	26.6	31.90	20.55	.....		25	25.4	32.19	21.13	3.41
	5	26.6	31.97	20.60	.....		35	21.4	33.74	23.44	2.61
	10	25.7	32.76	21.46	.....		45	18.7	34.15	24.46	2.08
	15	25.7	32.68	21.41	.....		55	18.2	34.57	24.91	.....
	20	25.2	33.61	22.26	.....		65	.....	34.65	.....	1.17
	25	24.1	33.79	22.73	.....	Jan. 24, 1957					
	35	19.8	34.45	24.42	.....	4	0	26.9	32.02	20.54	4.95
	45	19.1	34.09	24.32	.....		5	26.6	32.14	20.73	4.62
	55	17.7	34.60	25.05	.....		10	26.5	32.10	20.72	4.18
	65	.....	34.63	.....	.....		15	26.3	32.04	20.73	3.90
Nov. 14, 1956											
1	0	28.7	20.06	11.04	.....		20	26.3	32.06	20.74	4.06
	5	27.2	21.68	12.70	.....		25	26.3	.....	.....	3.98
	10	.....	26.33	.....	.....		35	26.1	.....	.....	3.88
							45	.....	.....	.....	2.87
Nov. 15, 1956											
4	0	27.2	23.25	13.89	.....	Feb. 20, 1957					
	5	26.6	23.85	14.51	.....	1	0	28.1	30.39	18.94	3.39
	10	25.6	26.76	16.98	.....		5	28.1	30.51	19.03	3.38
	15	24.6	28.47	18.58	.....	Feb. 21, 1957					
	20	23.3	30.22	20.26	.....	4	0	27.7	32.13	20.37	4.38
	25	23.0	31.53	21.33	.....		5	27.7	32.22	20.44	4.09
	35	22.2	32.78	22.49	.....		10	27.7	32.42	20.57	3.72
	45	.....	33.36	.....	.....		15	27.8	32.42	20.54	4.02
5	0	27.1	24.56	14.88	.....		19	27.4	32.49	20.73	4.02
	5	26.3	25.65	15.94	.....		24	27.2	32.69	20.95	3.96
	10	25.2	26.31	16.76	.....		34	26.8	32.89	21.21	3.87
	15	23.9	27.48	18.03	.....	5	0	27.6	32.88	20.97	4.84
	20	.....	30.79	.....	.....		5	26.8	32.80	21.14	4.50
Nov. 16, 1956											
7	0	27.2	26.80	16.52	.....		10	26.7	32.84	21.22	4.29
	5	26.0	26.80	16.90	.....		15	25.9	32.95	21.53	3.91
	10	24.6	30.90	20.39	.....		20	25.5	33.07	21.76	3.63
	15	24.9	31.73	20.93	.....		24	24.3	33.41	22.38	3.43
	20	24.7	32.38	21.49	.....	7	0	27.4	32.91	21.04	4.65
	25	23.9	32.62	21.90	.....		5	27.4	32.85	21.00	4.45
	35	22.0	33.51	23.11	.....		10	27.4	33.26	21.31	3.94
8	0	27.2	26.28	16.15	.....		15	26.8	33.24	21.49	3.84
	5	25.9	29.79	19.17	.....		20	25.2	33.29	22.02	4.09
	10	25.6	32.93	21.63	.....		24	25.0	33.33	22.10	3.47
	15	24.1	32.78	21.95	.....		34	23.9	33.52	22.56	3.35
	20	23.7	33.53	22.65	.....	8	45	.....	34.00	.....	2.78
	25	23.2	33.59	22.82	.....		0	28.0	32.86	20.81	4.73
	35	22.2	33.90	23.34	.....		5	27.2	32.93	21.12	4.39
	45	20.1	33.88	23.91	.....		10	26.3	33.12	21.54	4.01
	55	18.2	34.53	24.90	.....		15	25.9	33.22	21.73	3.82
	65	16.4	34.58	25.35	.....		20	25.9	33.09	21.65	3.38
Dec. 23, 1956											
1	0	27.8	27.61	16.94	3.40	March 22, 1957					
	5	27.9	27.66	16.95	3.44	4	0	.....	33.86	.....	4.48
4	0	27.3	30.73	19.44	3.98		5	.....	33.96	.....	4.47
	5	27.1	30.84	19.60	3.96		10	.....	33.93	.....	4.32
	10	26.7	31.12	19.95	3.64		15	.....	33.99	.....	4.16
	15	26.6	31.51	20.24	3.55		19	.....	33.94	.....	3.99
	20	26.4	31.85	20.55	3.46		25	.....	33.87	.....	3.96
	25	26.3	31.66	20.38	3.51		35	.....	33.94	.....	3.95
	35	.....	32.19	.....	3.30		44	.....	33.77	.....	4.02
5	0	27.2	31.29	19.88	4.29	April 16, 1957					
	5	27.2	31.19	19.82	4.45	1	0	29.4	33.12	20.54	3.56
	10	26.6	31.77	20.45	4.29		5	29.4	33.04	20.48	3.63
	15	25.4	31.94	20.92	3.92		10	.....	33.03	.....	3.61
	20	24.9	32.51	21.52	3.37	4	0	28.8	33.91	21.34	4.21
	25	23.9	32.14	21.54	2.85		5	28.3	34.10	21.63	3.94
	35	.....	32.92	.....	3.07		10	27.9	34.16	21.81	3.80
7	0	27.1	31.90	20.39	4.82		15	27.9	34.12	21.79	3.86
	5	26.9	31.69	20.29	4.76		20	27.8	33.87	21.62	3.75
	10	26.6	31.84	20.49	4.56		24	27.8	34.11	21.82	3.64
	15	26.6	31.79	20.47	4.38		34	27.6	34.26	22.00	3.34
	20	26.3	31.96	20.67	4.43		44	26.4	34.35	22.44	3.41
	25	25.5	32.51	21.34	3.70	5	0	28.9	34.16	21.48	4.18
	35	23.2	32.99	22.37	3.03		5	28.2	34.02	21.62	3.88
	45	19.1	34.29	24.48	1.95		10	27.9	34.33	21.93	3.74
8	0	27.2	31.61	20.16	4.44		15	27.8	34.06	21.78	3.72
	5	27.1	31.61	20.16	4.29		20	27.4	34.11	21.93	3.68
	10	27.1	31.76	20.29	3.74		25	27.2	33.97	21.90	3.60
	15	26.8	31.99	20.55	3.96		35	.....	34.32	.....	3.34
	20	26.1	32.33	21.03	3.47						

Table 1 (Tabla 1), Cont.—No. 11

Sta.	Depth	Temp.	Sal.	σ_t	Oxygen	Sta.	Depth	Temp.	Sal.	σ_t	Oxygen	
	(m.)	°C	o/oo		ml./L.		(m.)	°C	o/oo		ml./L.	
Esta-	Prof.	Temp.	Sal.	σ_t	Oxígeno	Esta-	Prof.	Temp.	Sal.	σ_t	Oxígeno	
ción	(m.)	°C	o/oo		ml./L.	ción	(m.)	°C	o/oo		ml./L.	
7	0	28.3	34.00	21.56	4.57	5	20	27.3	30.89	19.56	3.26	
	5	28.1	33.75	21.44	4.26		25	26.5	32.02	20.66	3.06	
	10	28.1	34.11	21.73	4.35		35	24.9	32.93	21.82	3.52	
	15	27.8	33.95	21.70	4.42		45	22.4	33.82	23.22	2.44	
	19	27.4	34.17	21.97	4.11		0	29.0	28.23	17.02	5.03	
	24	27.3	34.10	21.96	4.06		5	28.7	28.49	17.32	4.55	
	34	25.1	34.40	22.88	3.38		10	27.4	29.26	28.31	3.67	
	44		34.63		3.24		15	27.3	30.67	19.40	3.26	
	0	28.4	33.97	21.51	4.66		20	27.1	32.46	20.80	2.96	
	5	28.3	33.84	21.44	4.57		7	0	28.8	28.67	17.42	4.78
8	10	28.2	34.16	21.71	4.30	5		28.5	30.73	19.05	4.71	
	15	27.9	34.02	21.70	4.19	10		28.5	31.46	19.60	4.18	
	20	27.7	34.16	21.88	3.78	15		28.0	32.37	20.44	4.00	
	24	27.3	34.18	22.02	3.85	20		27.8	32.91	20.92	3.77	
	34	24.4	34.34	23.03	3.76	25		27.6	33.64	21.54	3.21	
	44	22.9	34.49	23.58	3.07	35		21.0	34.40	24.06	2.68	
	53	21.7	34.65	24.06	2.71	45		19.2	34.62	24.71	1.94	
	64	20.0	34.62	24.49	2.00	8		0	28.8	30.81	19.00	4.69
	June 24, 1957							5	28.8	31.42	19.48	4.45
	4	0	29.7	32.57	20.02		4.16	10	27.9	32.24	20.38	4.11
5		29.3	32.41	20.03	4.46		15	27.6	32.94	21.00	3.79	
10		29.1	32.61	20.27	4.31		20	24.9	33.60	22.34	3.39	
15		28.8	32.74	20.46	3.99		25	24.2	34.08	22.90	3.15	
20		27.4	32.99	21.09	3.32		35	22.8	34.25	23.45	2.78	
24		27.1	33.35	21.46	2.75		45	20.8	34.60	24.26	2.49	
34		.....	33.72	.....	2.68		55	19.2	34.75	24.81	1.87	
July 24, 1957							Nov. 15, 1957					
1	0	29.5	29.00	17.43	4.94	1	0	28.9	26.80	15.97	3.95	
	5	29.8	31.29	18.28	4.60		5	29.0	27.71	16.63	3.68	
	10		30.90		3.37		Nov. 16, 1957					
	0	30.2	31.68	19.17	5.08		4	0	29.2	28.65	17.28	4.09
4	5	30.1	31.63	19.20	5.20	5		28.7	29.41	17.99	3.73	
	10	29.5	31.82	19.54	4.94	10		28.5	31.09	19.32	3.57	
	15	29.4	32.29	19.91	4.70	15		28.4	31.20	19.44	3.48	
	20	29.4	31.86	19.60	4.19	20		28.2	31.34	19.62	3.36	
5	25	29.1	32.29	20.02	3.21	5	25	27.9	31.77	20.03	3.20	
	35	28.9	32.61	20.31	2.67		35	27.0	31.91	20.42	3.14	
	0	29.8	31.87	19.48	5.08		7	0	29.1	31.02	19.08	3.90
	5	29.6	31.83	19.51	4.97			5	27.7	31.46	19.87	3.90
	10	29.4	32.11	19.77	4.37			10	27.6	31.79	20.13	3.65
15	29.2	32.26	19.98	4.13	15	27.5		32.05	20.36	3.42		
7	20	29.1	32.18	19.94	3.39	7	20	27.3	32.30	20.62	3.18	
	25	29.0	32.28	20.05	3.17		25	27.0	32.57	20.87	2.98	
	35		32.73		3.08		8	0	28.5	31.75	19.82	3.92
	0	29.3	32.13	19.82	4.89			10	28.4	31.78	19.87	3.98
	5	29.3	32.37	20.00	4.99			15	28.3	31.71	19.86	3.87
8	10	29.3	32.58	20.16	4.60	20		27.7	32.14	20.35	3.50	
	15	29.3	32.52	20.13	4.53	25		25.8	32.87	21.50	3.15	
	20	29.1	32.90	20.47	4.50	35	24.9	33.95	22.90	2.93		
	25	29.1	33.04	20.58	4.41	45	.....	34.50		2.07		
	35	28.5	33.23	20.92	3.50	8	0	29.2	31.61	19.49	4.12	
45	25.4	34.10	22.55	2.76	5		29.1	31.61	19.51	4.09		
0	29.1	31.49	19.42	4.97	10		28.3	31.88	19.97	3.90		
5	29.2	32.07	19.82	5.10	15		27.3	31.87	20.30	3.73		
10	29.2	31.92	19.70	5.14	20		26.8	32.43	20.88	3.29		
4	15	29.2	32.12	19.85	5.03	7	25	26.3	33.10	21.54	2.95	
	20	29.2	32.41	20.07	4.89		35	23.9	34.08	23.00	2.89	
	25	29.2	32.47	20.13	4.90		45	22.4	34.50	23.75	2.07	
	35	28.9	32.89	20.52	4.13		55	17.5	34.71	25.19	1.47	
	45	27.9	33.67	21.44	3.41		65	16.8	34.90	25.51	1.28	
8	55	26.1	34.24	22.46	3.57	75	16.3	34.85	25.59	1.12		
	65	21.7	34.46	23.92	2.42	Dec. 16, 1957						
	Aug. 21, 1957						1	0	28.2	29.76	18.42	5.06
4	0	29.9	31.56	19.19	5.05	5		28.2	29.73	18.40	5.07	
	5	29.7	31.75	19.41	4.43	10		28.2	30.08	18.66	4.55	
	10	29.6	31.97	19.61	4.02	Dec. 17, 1957						
	15	29.5	32.06	19.72	3.88	4	0	28.2	31.35	19.61	4.87	
	20	29.4	32.09	19.77	3.63		5	28.3	31.40	19.62	4.87	
25	29.3	32.05	19.76	3.63	10		28.3	31.49	19.69	4.75		
35	27.8	32.97	20.95	3.10	15		28.2	31.52	19.74	4.63		
Oct. 18, 1957							20	28.0	31.54	19.82	4.63	
1	0	29.5	25.75	15.01	4.59	5	25	27.9	31.48	19.81	4.70	
	5	29.8	26.66	15.58	3.61		35	27.7	31.50	19.90	4.40	
	10		28.00		2.69		45	27.7	31.56	19.93	4.44	
4	0	29.6	26.86	15.80	5.01	5	0	28.3	31.66	19.82	4.66	
	5	28.8	28.52	17.29	4.72		5	28.0	31.65	19.90	4.67	
	10	28.7	28.67	17.44	4.55		10	28.0	31.56	19.84	4.65	
15	28.4	29.01	17.80	3.80								

Table 1 (Tabla 1), Cont.—No. 12

Sta.	Depth	Temp.	Sal.	σ_t	Oxygen	Sta.	Depth	Temp.	Sal.	σ_t	Oxygen
	(m.)	°C	°/°°		ml./L.		(m.)	°C	°/°°		ml./L.
Esta-	Prof.	Temp.	Sal.	σ_t	Oxígeno	Esta-	Prof.	Temp.	Sal.	σ_t	Oxígeno
ción	(m.)	°C	°/°°		ml./L.	ción	(m.)	°C	°/°°		ml./L.
7	15	27.9	31.62	19.90	4.44	8	0	28.6	30.93	19.16	4.37
	20	27.9	31.68	19.96	4.28		5	28.7	31.14	19.30	4.34
	0	28.6	31.13	19.33	4.45		10	28.4	31.32	19.53	4.45
	5	28.6	30.98	19.22	4.55		15	28.3	31.36	19.60	4.44
	10	28.5	31.23	19.43	4.41		20	28.2	31.64	19.82	4.24
	15	28.5	31.34	19.51	4.48		25	28.2	31.52	19.75	4.48
	20	28.4	31.30	19.52	4.34		35	27.4	31.96	20.63	4.33
	25	28.3	31.42	19.64	4.57		45	26.7	32.85	21.23	3.96
	35	28.1	31.64	19.88	4.36		55	25.6	33.28	21.90	
	45		32.50	.....	3.85		65		33.94		2.93

Table 2. Mean monthly values of meteorological observations at Chacarita for the years 1953 to 1955. Sea surface temperatures from recording thermometer and bucket thermometer readings.

Tabla 2. Valores medios mensuales obtenidos de las observaciones meteorológicas hechas en Chacarita en los años 1953 a 1955. Las temperaturas de la superficie del mar fueron obtenidas con el termógrafo registrador y de las lecturas del termómetro colocado en el agua extraída con balde.

Month	Air temperature °C			Sea surface temperature °C			Cloud cover in tenths			Relative humidity			Wind in meters/sec.		
	1953	1954	1955	1953	1954	1955	1953	1954	1955	1953	1954	1955	1953	1954	1955
Mes	Temp. del aire C			Temp. de la superficie del mar °C			Nubosidad en décimos			Humedad relativa			Viento en metros seg.		
	1953	1954	1955	1953	1954	1955	1953	1954	1955	1953	1954	1955	1953	1954	1955
January	27.1	28.8	26.5	28.0	28.7	28.0	6.5	2.5	4.1	67.1	62.7	65.9	2.4	2.2	2.6
February	28.1	28.1	28.0	28.6	27.9	28.3	4.5	3.5	2.6	65.2	67.8	59.3	2.7	1.3	3.9
March	29.0	29.4	28.2	28.9	28.7	27.7	3.1	5.1	1.6	58.0	60.2	55.6	2.5	1.9	3.2
April	29.3	28.9	28.2	30.0	28.4	28.9	8.2	7.1	5.6	70.6	66.4	66.2	2.2	1.2	2.6
May	27.3	28.1	28.6	30.3	29.0	29.3	9.1	9.5	7.4	82.9	77.8	69.4	0.4	0.8	2.7
June	27.6	27.6	27.4	28.6	28.9	27.9	8.8	9.5	8.4	81.4	80.8	81.9	0	0.6	1.9
July	27.5	26.9	26.9	29.1	28.6	27.6	9.1	9.1	9.0	78.2	81.7	82.4	0	0.4	1.1
August	28.1	26.7	26.9	29.1	28.7	28.3	9.1	9.4	9.2	78.3	82.9	81.0	0	0.6	1.2
September	27.9	27.1	26.9	29.9	28.4	26.7	8.8	9.2	9.1	76.8	82.4	82.4	0.1	1.1	1.2
October	27.2	26.3	26.8	28.7	26.7	25.8	8.6	9.4	9.5	80.6	84.9	84.9	0.5	1.0	1.6
November	27.0	26.0	26.1	28.2	26.8	26.2	8.4	8.1	8.6	78.1	80.5	87.9	1.4	1.6	1.8
December	27.9	25.7	27.8	27.8	27.2	26.8	7.1	5.0	8.2	78.3	69.9	76.8	1.1	2.5	2.8

Table 3. Rainfall in millimeters at San Miguel de Barranca, 1937 to 1957.

Tabla 3. Precipitación en milímetros en San Miguel de Barranca, de 1937 a 1957.

Year	Jan.	Feb.	March	April	May	June	July	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.	Total
Año	Enero	Feb.	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.	Total
1937	—	—	—	—	235	274	85	228	421	346	79	115	—
1938	20	—	36	76	411	330	227	472	315	469	150	61	2567
1939	0	0	24	26	164	371	99	155	389	266	124	31	1649
1940	1	0	13	81	232	254	135	192	195	299	96	6	1504
1941	0	0	0	114	243	377	433	272	523	98	155	75	2290
1942	10	0	0	63	453	383	128	223	387	330	136	207	2320
1943	12	0	13	118	254	377	131	261	191	380	164	85	1986
1944	0	0	11	41	204	428	301	345	433	168	134	5	2070
1945	0	0	0	122	327	252	277	242	298	364	369	23	2274
1946	1	0	0	6	220	169	170	282	239	276	137	150	1650
1947	4	0	0	28	70	359	269	188	368	541	211	87	2125
1948	1	0	0	4	229	182	321	106	346	235	241	50	1715
1949	0	0	0	58	330	470	353	197	316	289	37	64	2114
1950	2	0	1	11	306	677	246	378	471	339	158	48	2637
1951	7	8	0	35	225	388	392	288	412	484	227	3	2469
1952	0	0	5	30	241	255	336	213	324	613	124	89	2230
1953	1	0	0	61	658	328	242	148	228	384	33	53	2136
1954	1	10	2	65	419	454	226	323	276	463	44	0	2283
1955	0	0	0	38	200	317	418	228	314	973	131	72	2691
1956	5	2	0	6	424	218	260	264	296	457	199	18	2149
1957	1	0	0	6	327	304	320	147	284	282	80	0	1751
Average	3.3	1.0	5.2	49.4	293.9	341.3	255.7	245.3	334.6	383.6	144.2	59.1	2130.5
Promedio													

Table 4. Total solar radiation (gr. cal/cm²/day) incident on the sea surface in absence of clouds, at 10° N. latitude (Budyko, 1956).Tabla 4. Radiación solar total (gr. cal/cm²/día) incidente en la superficie del mar en ausencia de nubes, en la latitud de 10°N. (Budyko, 1956).

Month	Jan.	Feb.	March	April	May	June	July	Aug.	Sept.	Oct.	Nov.	Dec.
Mes	Enero	Feb.	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Oct.	Nov.	Dic.
	580	633	700	710	707	707	707	707	703	653	600	553

Table 5. Mean monthly values for 1955, 1954 and 1955 of total direct and diffuse incoming solar radiation ($\bar{Q}_t$), effective back radiation ($\bar{Q}_b$), evaporation ($\bar{Q}_e$), conduction of sensible heat ($\bar{Q}_s$), and the total heat transfer across the air-sea boundary, in gram calories per square centimeter per day.

Tabla 5. Valores mensuales medios durante 1953, 1954 y 1955 de la total radiación solar directa y difusa ($\bar{Q}_t$), radiación efectiva devuelta ($\bar{Q}_b$), evaporación ($\bar{Q}_e$), conducción de calor sensible ($\bar{Q}_s$) y la transferencia total de calor a través del límite aire-mar, en calorías-gramos por centímetro cuadrados, por día.

Month	1953					1954					1955				
	$\bar{Q}_t$	$\bar{Q}_b$	$\bar{Q}_e$	$\bar{Q}_s$	Total heat transfer across air-sea boundary	$\bar{Q}_t$	$\bar{Q}_b$	$\bar{Q}_e$	$\bar{Q}_s$	Total heat transfer across air-sea boundary	$\bar{Q}_t$	$\bar{Q}_b$	$\bar{Q}_e$	$\bar{Q}_s$	Total heat transfer across air-sea boundary
Mes	1953					1954					1955				
	$\bar{Q}_t$	$\bar{Q}_b$	$\bar{Q}_e$	$\bar{Q}_s$	Transferencia total de calor a través del límite aire-mar	$\bar{Q}_t$	$\bar{Q}_b$	$\bar{Q}_e$	$\bar{Q}_s$	Transferencia total de calor a través del límite aire-mar	$\bar{Q}_t$	$\bar{Q}_b$	$\bar{Q}_e$	$\bar{Q}_s$	Transferencia total de calor a través del límite aire-mar
Jan.	318	108	203	9	-2	465	130	196	-1	140	406	125	239	16	26
Feb.	427	122	238	8	59	468	118	93	-1	258	504	143	384	5	-28
March	534	136	256	-1	143	445	113	177	-6	161	598	149	313	-7	143
April	313	76	152	7	78	362	89	90	-3	186	429	100	229	8	92
May	271	67	32	5	167	253	53	50	3	147	347	89	223	8	27
June	284	64	0	0	220	253	58	36	3	156	305	67	85	3	150
July	271	67	0	0	204	271	65	24	3	179	278	62	50	3	163
August	271	63	0	0	208	258	62	37	5	154	265	63	70	7	125
Sept.	283	72	8	1	202	265	61	60	6	138	270	58	40	-1	173
October	271	70	31	3	167	238	56	35	2	145	232	49	28	-7	162
Nov.	257	75	87	7	83	268	77	78	5	108	248	62	43	1	142
Dec.	282	78	52	0	162	356	97	198	16	45	244	66	106	12	60

LA OCEANOGRAFIA FISICA DEL GOLFO DE NICOYA. COSTA RICA, UN ESTUARIO TROPICAL

por

Clifford L. Peterson

SUMARIO

Se examinó la distribución de la salinidad, temperatura y oxígeno en el Golfo de Nicoya, sobre la base de observaciones aproximadamente bimensuales efectuadas de marzo de 1952 a diciembre de 1957.

El Golfo de Nicoya puede ser considerado como un sistema estuarino, en el cual la estructura dinámica está controlada principalmente por las variaciones de la salinidad. En el curso de la estación de las lluvias, las aguas de drenaje de la parte superior del Golfo forman una corriente superficial hacia el mar la que debe ser compensada desde abajo por aguas más saladas para que se mantenga la distribución de la salinidad. El agua desplazada se sustituye por aguas que corren a niveles más bajos hacia la ensenada y tienen una salinidad relativamente más alta.

La estructura salina observada durante el año puede clasificarse en dos grupos principales, correspondiendo a las estaciones lluviosa y seca, respectivamente. Durante la estación lluviosa, las aguas del Golfo están bien estratificadas y el gradiente horizontal está fuertemente desarrollado. Con la merma del drenaje a la terminación de la temporada de lluvias, los vientos y las mareas destruyen la estructura salina altamente estratificada y característica de la estación lluviosa, resultando en una estructura salina esencialmente oceánica.

Los cambios estacionales en la estructura térmica del Golfo siguen muy de cerca a los de la salinidad; es decir, la estratificación es insignificante durante la estación seca pero se desarrolla mucho durante la temporada lluviosa.

La temperatura mínima en todas las profundidades es alcanzada en octubre o noviembre, coincidiendo con el período de la temperatura mínima del aire; mientras que el período en que la columna de agua se presenta más cálida aparece atrasado en un mes o algo más con respecto al período de la más alta temperatura del aire (abril). La variación estacional de la temperatura media de la columna de agua raras veces excede 3°C.

La distribución estacional del oxígeno disuelto es similar a la de temperatura y salinidad; es decir, el gradiente de la concentración de oxígeno se destaca bien en la estación lluviosa y es insignificante en la estación seca.

Se hizo un análisis con la finalidad de determinar si los cambios de la temperatura en el Golfo podrían o no explicarse enteramente en términos de intercambio de calor entre la atmósfera y el mar. Los datos indican que el mar gana continuamente más calor de la atmósfera que el que pierde hacia ésta, por lo cual el mantenimiento de un equilibrio térmico requiere una advección de agua cálida del Golfo hacia el mar. Como los datos indican que la advección de agua cálida del Golfo llega a su punto máximo durante la estación lluviosa, se ha pensado que esta pérdida de calor se debe mayormente al desplazamiento hacia el mar del agua salobre y cálida durante esta estación.

RECONOCIMIENTO

Los datos meteorológicos utilizados en este informe fueron obtenidos merced a la cortesía de Pan American World Airways y del Servicio Meteorológico de Costa Rica. El Ministerio de Agricultura e Industrias Costarricense proveyó los datos sobre la descarga de los ríos.

El autor se siente asimismo obligado hacia el Dr. Robert S. Arthur y el Sr. Gunnar J. Roden del Instituto Scripps de Oceanografía y también a los señores Martin J. Pollak, Edward B. Bennett y Raymond C. Griffiths de la Comisión Interamericana del Atún Tropical, quienes leyeron el manuscrito en forma crítica y ofrecieron muchas sugerencias útiles.

Este agradecimiento se hace extensivo al Sr. Hernán Sobrado H. y a los demás miembros del personal del laboratorio de la Comisión Interamericana del Atún Tropical en Costa Rica, por haber recolectado muchos de los datos.

INTRODUCCION

Objetivo

En febrero de 1952, la Comisión Interamericana del Atún Tropical estableció un laboratorio en Puntarenas, Costa Rica, un puerto del Golfo de Nicoya, para investigar la merma y aparente desaparición de la población de anchovetas (*Cetengraulis mysticetus*) de aquella área, realizar estudios sobre la historia natural y ecología de otras especies útiles como carnada en la pesca del atún y coleccionar datos hidrográficos con el fin de determinar las variaciones en el ambiente de una estación a otra y de un año a otro. Esta última parte de la investigación es el objetivo del presente informe.

Una cuidadosa revisión de la bibliografía mostró que, excepto algunos datos sobre la temperatura y salinidad en superficie publicados por el U.S. Coast and Geodetic Survey (1954, 1956), nada se ha publicado referente a la oceanografía del Golfo de Nicoya. Como lo destacó Watts (1958), existe una sorprendente falta de bibliografía sobre la hidrología de los estuarios tropicales. Se espera que otros investigadores de tales estuarios encuentren útil este trabajo.

Recolección y proceso de los datos

Las observaciones hidrográficas incluidas en este estudio se hicieron entre marzo de 1952 y diciembre de 1957. En 1952 y en la mayor parte del año 1953, las estaciones hidrográficas se ocuparon a intervalos de aproximadamente un mes y, luego, a intervalos de aproximadamente dos meses (Tabla 1).

En los comienzos, en cada viaje de investigación se ocuparon ocho estaciones distribuidas entre la parte superior del Golfo y su desembocadura (Figura 1). En septiembre de 1952 se agregó la novena estación, situada justamente al sur del contorno de la profundidad de 100 brazas. Después de septiembre de 1953, las observaciones hidrográficas se limitaron a las Estaciones 1, 4, 5, 7 y 8.

Con excepción de pocos de los primeros viajes, se tomaron muestras de agua en cada estación con botellas extractoras Nansen que fueron bajadas a las profundidades de 0, 5, 10, 15, 20, 25, 35, 45, 55, 65, 90, 115, 165 y 200 metros, dependiendo la profundidad de la del fondo en cada estación. Todas las muestras de agua se analizaron para determinar la salinidad, pero las determinaciones de oxígeno disuelto no se comenzaron hasta diciembre de 1956. Las temperaturas superficiales del agua se obtuvieron por medio de un termómetro sumergido en un balde y las temperaturas debajo de la superficie mediante un batitermógrafo, el cual fué verificado con un termómetro reversible.

El análisis de la salinidad y del oxígeno disuelto de las muestras de agua se hizo en la costa, siguiendo los métodos de Knudsen y Winkler, respectivamente.

Datos meteorológicos se obtuvieron de Pan American World Airways y del Servicio Meteorológico Costarricense, los cuales mantienen estaciones meteorológicas en el área del Golfo de Nicoya.

Los datos referentes a la descarga del Río Tempisque fueron proporcionados por el Ministerio de Agricultura e Industrias de Costa Rica.

Geografía

El Golfo de Nicoya está situado en la costa de Costa Rica bañada por el Pacífico, aproximadamente en la latitud de 10°N. y longitud de 85°W. Las características generales del Golfo se presentan en la Figura 1.

El Golfo tiene una longitud de 52 millas y penetra profundamente en la tierra, primero hacia el norte y luego hacia el noroeste. Tiene en la desembocadura un ancho de 34 millas, que disminuye a 5½ millas frente al puerto de Puntarenas y se ensancha luego, alcanzando un ancho promedio de 8 millas en la cabeza. La mitad norteña del Golfo tiene profundidades pequeñas, de dos a cinco brazas, pero aumentan progresivamente de 10 a 100 brazas en dirección sur. En el angosto canal entre la Isla de San Lucas y la Península de Puntarenas, hay una hendidura corta con una profundidad de 25 brazas.

El fondo del Golfo entre la Isla de Chira y la Isla Bejuco es un extenso bajo fangoso cubierto por una a tres brazas de agua durante la bajamar media. El fango del bajo tiene un espesor de varios pies, siendo fácilmente revuelto por las corrientes de las mareas. Areas tales como la Bahía Ballena, la Bahía Barranca y la desembocadura del Río Tempisque tienen fondo arenoso y el área situada al este de las Islas Negritos, por ejemplo, tiene fondo rocoso. La distribución de los distintos tipos de fondo se presenta en la Figura 1.

Casi toda la línea costera del interior del Golfo al norte de Puntarenas está entrecortada por esteros sinuosos, poco profundos y con densa vegetación de mangles. La línea costera de la parte exterior del Golfo es accidentada en su mayor parte, con numerosos escarpados y puntas rocosas.

La costa occidental del Golfo está formada por la Península de Nicoya, caracterizada por una cadena de colinas boscosas con alturas de 300 a 2500 pies. Desde la cabeza del Golfo hacia el norte, el terreno asciende suavemente a través de colinas que ondulan hacia la frontera con Nicaragua. La costa oriental asciende gradualmente hacia la larga cadena de montañas que domina la topografía central de Costa Rica.

Climatología

La célula de alta presión de las Azores es probablemente el más importante contralor climático de la América Central (U.S. Hydrographic Office, 1948). La intensificación y movimiento de la célula de Alta de las Azores hacia el norte en el verano y su fuerza disminuida y movimiento hacia el sur en el invierno, producen cambios en la estructura de los alisios, los que influyen y determinan las características estacionales generales del clima.

En el curso del invierno, cuando el Alta de las Azores se encuentra en su posición más meridional, toda la región Centroamericana se encuentra en el cinturón de los vientos alisios del noreste, pero la alta cadena montañosa de Costa Rica central ataja estos vientos a lo largo de la costa del Pacífico. En el invierno, el régimen de los vientos en el área del Golfo de Nicoya está dominado por los Papagayos que soplan del norte y, en menor escala, por las brisas terrestres y marinas. Los vientos Papagayo soplan de medio día hasta cuatro o cinco días, alcanzando frecuentemente velocidades de ventarrones.

Durante los meses de verano, Costa Rica queda en la zona tropical de baja presión, o de quietud, y los vientos nórdicos prevalentes en el invierno son reemplazados por vientos que soplan predominantemente del sudoeste.

Las velocidades medias mensuales del viento registradas en Puntarenas por la Panamerican durante los años 1953 a 1955, están presentadas en la Tabla 2.

En general, una estación seca prevalece de diciembre a abril inclusive—período en que Costa Rica queda en el cinturón de los vientos alisios del noroeste—debido a una inversión de la temperatura que actúa como una tapa sobre la convección y limita las alturas hasta las cuales pueden formarse cúmulos de tormenta (U. S. Hydrographic Office, 1948).

La estación lluviosa se extiende de abril o mayo hasta noviembre inclusive, en el período en que Costa Rica queda en el cinturón de las calmas ecuatoriales entre las zonas de los vientos alisios de los dos hemisferios. En el Golfo de Nicoya, a mitad de la estación lluviosa existe normalmente un período de lluvias menos intensas, lo cual se debe a la breve intensificación del Alta de las Azores en julio y agosto. Mucha de la lluvia intensa es causada por la actividad convectiva local, pero parte de la lluvia de septiembre y posiblemente de octubre puede ser causada por la influencia de los alisios del sudeste (U.S. Hydrographic Office, 1958).

Una exposición sobre la humedad relativa, la temperatura del aire y la nubosidad en conexión con el estudio del intercambio de calor entre la atmósfera y el mar (balance de calor) se encuentra en la página 207 y estos datos correspondientes a los años 1953 a 1955 aparecen en la Tabla 2. Los cambios estacionales de estas propiedades pueden ser resumidos al decir que, en el curso de la estación seca, la temperatura del aire es alta, la humedad relativa es baja y la nubosidad es muy reducida y que en la estación lluviosa prevalecen las condiciones contrarias.

Contribuciones de agua dulce

Los principales cursos de agua que se vierten en el Golfo son el Río Tempisque en la cabeza del Golfo, y el Río Barranca y el Río Grande en la costa oriental al sudeste de Puntarenas (Figura 1). Hay también cierto número de cursos de agua más pequeños y arroyos que descargan sus aguas en el Golfo. Datos sobre el volumen de las descargas en el Golfo sólo existen para el Río Tempisque, pero se puede admitir que los demás ríos tienen un régimen similar. La descarga del Río Tempisque sigue muy de cerca el régimen estacional de las precipitaciones (Figura 3). Las lluvias influyen rápidamente en el caudal de los ríos durante un período muy breve; los arroyos y cursos de agua más pequeños, en el corto intervalo de una o dos horas, cambian desde una situación de sequía a la de crecida, disminuyendo casi tan rápidamente como crecieron.

Debe tenerse en cuenta también la precipitación en la superficie del Golfo. Considerando que el área del Golfo tiene aproximadamente 450 millas náuticas cuadradas, la precipitación directa puede expresarse así:

$$P=15,750 \text{ } r \text{ pies cúbicos/segundo}$$

en donde r es la precipitación en pulgadas por día. Así por ejemplo, el 13 de octubre de 1955 cuando cayó una lluvia de 7.9 pulgadas, la precipitación directa sobre la superficie del Golfo fué estimada en 124,425

pies³/segundo. Al tener en cuenta que la tasa diaria media de precipitación en Puntarenas es de unas 0.36 pulgadas desde mayo hasta octubre inclusive, la cantidad promedio de agua dulce contribuida al Golfo durante estos meses como resultado de la precipitación directa se estima que sea de 5,670 pies³/segundo.

Mareas

La corriente de pleamar que entra en el Golfo se desplaza hacia el noreste hacia Punta Caldera (Figura 1) y la desembocadura del Río Barranca y luego hacia el oeste siguiendo las sinuosidades de la línea costera de la Bahía de Barranca. La corriente aumenta en velocidad (hasta dos nudos) a medida que corre a lo largo de la angosta península hacia Puntarenas y luego disminuye al pasar ese puerto. La vuelta de la marea alrededor de la extremidad occidental de la Península de Puntarenas y la disminución de la velocidad que la acompaña, es probablemente la causa que explica la presencia de varios grandes bancos de arena inestables, de forma irregular, justamente al sudoeste de Puntarenas. La bajamar se desarrolla en dirección inversa. La velocidad de la corriente es especialmente alta en la constricción estrecha formada por la Península de Puntarenas y la Isla de San Lucas. Fuertes remolinos de marea se forman al este de las Islas Negritos, en particular durante la bajamar. Según el U.S. Hydrographic Office (1951) la diferencia promedio de nivel entre las mareas en Puntarenas es de 7.5 pies.

DESCRIPCION DE LOS DATOS HIDROGRAFICOS

En la exposición que sigue deberá tenerse en cuenta que como el análisis realizado se basa en los datos obtenidos en estaciones dispuestas en una sola línea en forma espaciada a lo largo del eje longitudinal del Golfo, muy poco se conoce acerca de la circulación y la distribución transversal de la salinidad, temperatura y oxígeno.

Salinidad

Distribución estacional

La distribución de la salinidad en el Golfo durante la estación seca (diciembre a abril o mayo) difiere de la distribución durante la estación lluviosa (mayo o junio a noviembre). La salinidad en la superficie está estrechamente relacionada con la lluvia, alcanzando un máximo al final de la estación seca en abril o mayo y cayendo a un mínimo al terminar la estación lluviosa en octubre o noviembre (Figura 2). Las variaciones de la salinidad en la superficie durante cortos períodos son mucho mayores en la estación lluviosa que en la seca. En la estación lluviosa, la diferencia de la salinidad en la superficie entre la cabeza y la desembocadura del Golfo puede ser hasta de 15 ‰, mientras que en la estación seca puede no haber diferencia alguna.

Los perfiles de salinidad típicos para la estación seca y para la estación lluviosa están presentados en la Figura 4. En la estación seca, el gradiente horizontal falta o está poco desarrollado y la estratificación es muy débil. El gradiente de la salinidad oscila normalmente entre 33.00 ‰ en la superficie y aproximadamente de 35.0 ‰ en el fondo. Durante la estación lluviosa, esta distribución de la salinidad es modificada en forma radical, especialmente en la parte interior del Golfo. En la superficie prevalece un gran gradiente horizontal de la salinidad aumentando éste desde la cabeza, donde el Río Tempisque se vierte al mar, hacia la boca, donde la salinidad se acerca a la del agua de mar. También la estratificación de la salinidad se hace muy pronunciada, especialmente entre los 10 y los 20 metros superiores. Aunque debajo de estas profundidades la influencia del agua dulce es mucho menos obvia, sus efectos pueden notarse en la mayor parte del Golfo.

Las Figuras 5 a 10 presentan las variaciones en la estructura de la salinidad en la Estación 4, de 1952 a 1957. Obsérvese nuevamente la intensa estratificación durante la estación lluviosa y la insignificante estratificación en la estación seca. Estas figuras muestran también las considerables variaciones de un año a otro, especialmente en la estación de lluvias. Compárase, por ejemplo, la distribución de la salinidad en junio de 1953 con la de junio de 1957 y la de noviembre de 1953 con la de noviembre de 1956. En contraste, la estructura de la salinidad desde febrero hasta principios de mayo varía sólo muy poco (desde aproximadamente 32 ‰ hasta 34 ‰ de un año a otro.

Aparte de las principales diferencias entre las estaciones lluviosa y seca, los datos indican que en la estación lluviosa hay una variabilidad mucho mayor de una semana a otra en la estructura de la salinidad que en la estación seca, cuando la estructura de la salinidad se presenta prácticamente constante.

Las Figuras 11 a 13 ilustran la relación estacional promedio de la T-S en las Estaciones 4, 5 y 8 para los años 1952 a 1957. Debido al hecho de que las observaciones oceanográficas fueron hechas sólo a aproximadamente intervalos bimensuales desde septiembre de 1953 hasta fines de 1957, no ha sido posible incluir datos para cada mes del año. Conviene proceder con cautela en la interpretación del significado de algunas de las variaciones menores indicadas en las figuras. Aún una serie de datos de seis años resulta probablemente inadecuada para representar las condiciones promedio de un determinado mes, debido a las grandes variaciones de un año a otro y a las amplias fluctuaciones estacionales en la estructura de la salinidad y la temperatura.

Parece que la salinidad alcanza un minimum en noviembre o diciembre y un máximo en mayo, en todas las estaciones y en todas las profundidades. También se muestra la gran amplitud en la variación de la salinidad de las aguas superficiales y el grado hasta el cual decrecen las

variaciones de la salinidad con la profundidad. En la Estación 8, al nivel de 55 metros por ejemplo, la variación estacional media es sólo aproximadamente de un 20% del cambio correspondiente al nivel de 5 metros.

Distribución geográfica

Sobre la base de las variaciones en la estructura de la salinidad durante la estación lluviosa, el Golfo de Nicoya puede ser dividido en dos zonas. En las aguas poco profundas al noroeste de la Estación 4 la estratificación se extiende hasta el fondo, mientras que al sur de la Estación 4 el agua salobre reposa sobre aguas más saladas y menos estratificadas procedentes de mar afuera (Figura 4).

En el curso de la estación seca se reduce mucho tanto la estratificación horizontal como la vertical, pero como todavía hay cierto drenaje, la cabeza del Golfo es casi siempre menos salina que el resto del mismo, como se indica en la Figura 4.

Como se mencionó anteriormente (página 197), hay un pronunciado gradiente horizontal en la salinidad que se extiende desde la cabeza hasta la boca del Golfo durante la estación lluviosa, que se debe principalmente a la descarga del Río Tempisque. Sin embargo, dicho gradiente es a veces bastante irregular, debido al agua de drenaje de otros dos ríos (Río Barranca y Río Grande), los que se vierten en el Golfo aproximadamente en la parte central de la costa oriental. Un caso de tal irregularidad ha sido ilustrado en la Figura 14, donde la salinidad en la superficie en la Estación 7 fué un 3 ‰ menor que en la de las estaciones vecinas. Cuando se hicieron estas observaciones se vió una extensa área ocupada por aguas fangosas que se extendía desde cerca de la desembocadura del Río Grande hasta una posición situada ligeramente al oeste de la Estación 7.

Temperatura

Distribución estacional

La distribución de la temperatura es más compleja que la de la salinidad, pero hay aún una marcada diferencia estacional. La temperatura de superficie en Puntarenas aparentemente alcanza un máximo hacia fines de la estación seca, como ocurre también con la salinidad de superficie y un mínimo en algún momento entre octubre y enero (Figura 2). Sin embargo, el máximo de temperatura se registra cada año aproximadamente un mes después del máximo de la salinidad.

Las Figuras 5 a 10 presentan la distribución estacional vertical de la temperatura en la Estación 4. Los cambios estacionales en la estructura térmica siguen de cerca a los de la salinidad; vale decir, hay fuerte estratificación en la estación lluviosa pero no la hay en la estación seca. La Figura 15 muestra que la estratificación térmica bien desarrollada en la Estación 4 (Figuras 5 a 10), está presente en todo el Golfo durante la estación lluviosa.

En el curso de la estación seca, el gradiente térmico aparece considerablemente reducido en los 30 metros superiores, especialmente en la parte interior del Golfo (Figura 15). Sin embargo, el grado de estratificación mostrado en esta Figura no prevalece siempre a través de toda la estación seca. En cinco de los siete años que comprende este estudio, se observó una estructura térmica casi uniforme en los 30 ó 40 metros superiores a lo largo de todo el Golfo (Figura 16) durante por lo menos uno de los viajes de investigaciones oceanográficos realizados en la estación seca. Esta situación generalmente se presentó durante el período diciembre-febrero, la estación de los fuertes vientos del norte (página 203). En los meses subsiguientes de la estación seca, la estratificación térmica se restableció hasta cierto punto como se indica en la Figura 15.

Los diagramas T-S correspondientes a las Estaciones 4, 5 y 8 (Figuras 11 a 13) ilustran el régimen estacional de la temperatura. Las temperaturas mínimas ocurren en octubre o noviembre, en todas las estaciones ocupadas y en todas las profundidades. Las temperaturas alcanzan un máximo en mayo en la capa superficial de 25 a 30 metros en todas las estaciones; en la Estación 8, la temperatura máxima por debajo del nivel de 25 metros ocurre generalmente en julio.

Distribución geográfica

Las aguas poco profundas y fangosas al noroeste de Puntarenas son por lo general más tibias que las aguas de equivalente profundidad hacia el sur, tanto en la estación seca como en la estación lluviosa (Figura 15). Temperaturas superficiales tan altas como 32.5°C fueron registradas en las aguas poco profundas que cubren los Bajos de Chira; la temperatura media de superficie de todas las observaciones hechas allí de 1952 a 1957 fué de 29.5°, 1°C más alta que la media correspondiente a la temperatura del agua de superficie en la parte exterior del Golfo.

Oxígeno

Las observaciones sobre oxígeno disuelto en el Golfo de Nicoya se iniciaron recién en 1957, por lo que resulta difícil establecer hasta qué punto los datos referentes al oxígeno en aquel año pueden representar las condiciones en otros años. Sin embargo, como el régimen de la salinidad y temperatura de 1957 ha sido similar al de los años 1952 a 1956, se supone que los datos sobre oxígeno para 1957 son también típicos.

La Figura 17 presenta la distribución vertical típica del oxígeno disuelto en la estación seca y en la estación lluviosa. Por lo general, el régimen estacional es muy similar al de la temperatura y salinidad (Figuras 15 y 4); es decir, el gradiente de la concentración de oxígeno es muy evidente en la estación lluviosa e insignificante en la estación seca. La concentración de oxígeno en la superficie es mayor durante la estación lluviosa que en la estación seca, mientras que la concentración del oxígeno sobre el fondo es mayor en la estación seca que en la lluviosa. La con-

centración de oxígeno en la superficie es, en promedio, de más o menos 4.5 ml./L., lo cual indica una saturación de 100% aproximadamente.

Densidad

En general, las curvas de densidad correspondientes al Golfo de Nicoya tienden a seguir más de cerca a las de salinidad que a las de temperatura (véase Figura 18 y Figuras 5 a 10), particularmente en la estación lluviosa. También es de interés destacar que la temperatura cambia y en parte contrarresta los cambios en la densidad debidos a las variaciones estacionales de la salinidad. Esto es, en el curso de la estación seca cuando el Golfo llega a ser más salino y tiende por lo tanto hacia una densidad más elevada, la temperatura aumenta y ésto tiende a reducir la densidad. Por otra parte, el Golfo se vuelve más frío y por lo tanto menos denso durante la estación lluviosa, pero en esa parte del año la temperatura es más baja, por lo cual la densidad tiende a aumentar.

EXPOSICION

Circulación

El drenaje puede considerarse como uno de los principales factores responsables de la circulación en el Golfo de Nicoya durante la estación lluviosa. La descarga de agua dulce del Río Tempisque en la cabeza del Golfo, conjuntamente con la aportada por varios ríos menores y la precipitación que cae directamente sobre la superficie del Golfo, producen un desplazamiento del agua superficial hacia el mar. Como se ha observado un aumento gradual en la salinidad de la capa superficial desde la cabeza del Golfo hasta su desembocadura, se supone que razonablemente debe existir un desplazamiento de agua desde abajo que reemplace el agua que corre hacia el mar. Por ello, para que se mantenga la distribución de la salinidad, se requiere una entrada compensatoria de agua salada desde abajo hacia la cabeza del Golfo.

No se han efectuado en el Golfo mediciones directas de las corrientes para verificar el esquema propuesto anteriormente para la circulación, pero se encuentra cierta evidencia en la distribución vertical de la salinidad y temperatura.

Las Figuras 5 y 10 muestran la distribución vertical estacional de estas propiedades en la Estación 4. La temperatura media en la superficie de esta Estación 4 es aproximadamente 1°C más elevada en la estación seca que en la lluviosa. A la profundidad de 20 metros, en esta misma estación, la temperatura media en la estación seca es alrededor de 1.5°C más elevada que la correspondiente a la estación lluviosa, y al nivel de los 35 metros esta diferencia es de 2.2°C. La mayor diferencia de temperatura en el nivel de 20 metros y por debajo del mismo, cuando se compara con la de la superficie, se debe al hecho de que en los máximos de las lluvias durante la estación lluviosa las temperaturas por debajo del nivel de 20

metros, especialmente cerca del fondo, son desusadamente bajas cuando se las compara ya sea con las de la estación seca o bien con las de los periodos de menos lluvia en la estación húmeda. La Figura 9 ilustra bien esta situación. Aunque las temperaturas más bajas del aire que prevalecen durante la estación lluviosa pueden contribuir algo a este enfriamiento del Golfo, no son, sin embargo, bastante bajas como para producir temperaturas de 23° - 24°C en el agua. Otra explicación sobre la causa de esta agua fría en el fondo en la estación lluviosa podría ser la de que las aguas de drenaje son más frías que las del Golfo y al mezclarse con las aguas más saladas de abajo enfrían toda la columna de agua. Las mediciones hechas en el Río Tempisque indican que la temperatura del agua del río se aproxima a la de las aguas superficiales del Golfo; es decir, alcanzan de 26° a 29°C , aunque a veces se observan en el río temperaturas tan bajas como 24.5° a 25°C durante los periodos de fuertes crecidas. Pero ni estas fuertes crecidas pueden ser responsables por las temperaturas de 22.5° - 24°C que se observan en la Estación 4. Así por ejemplo, en noviembre de 1956, la temperatura mínima registrada en el Río Tempisque fué de 25.5°C , mientras que el 15 de noviembre casi toda la mitad inferior de la columna de agua (aproximadamente 25 metros) en la Estación 4, marcó 23°C o menos (Figura 9).

La explicación más aceptable de las bajas temperaturas observadas en la Estación 4 durante la estación lluviosa es la de que aguas más frías y saladas sustituyen a las que se desplazan en la superficie hacia el mar.

Aún más, la distribución de la salinidad en la Estación 4 permite sostener esta última explicación. En la mayoría de los años (Figuras 5 a 10), el periodo de más intensa estratificación de la salinidad está acompañado por la presencia cerca del fondo de aguas desusadamente saladas. Esta condición está reflejada en forma especial en los datos de 1952. Como la única fuente que puede proveer más sal es la de las aguas más profundas hacia el sur, el origen del agua desusadamente salada presente a profundidades en la Estación 4 durante la época lluviosa debe ser el agua salada que se desplaza hacia el norte como consecuencia del desplazamiento del agua superficial hacia la boca del Golfo.

Los datos correspondientes al oxígeno, aunque no constituyen una evidencia por sí mismos, no están en contradicción con el esquema de la circulación propuesto anteriormente (página 200). La Figura 17, que presenta la distribución del oxígeno disuelto en ambas estaciones, indica que la distribución del oxígeno durante la estación lluviosa se caracteriza por valores de oxígeno más bajos cerca del fondo. Podrían esperarse valores más bajos de oxígeno cerca del fondo en el caso de que existiese un movimiento de entrada de aguas más profundas desde el sur durante la estación lluviosa; pero, por otra parte, podría argüirse que estos bajos valores ocurren porque el abastecimiento de oxígeno en las aguas más profundas en la Estación 4 está obstaculizado por la fuerte estratificación de la densidad, la cual prevalece durante la estación lluviosa.

El agua desusadamente fría y salada presente cerca del fondo en la Estación 4 durante la estación lluviosa (véase páginas 200 y 201) raras veces se encuentra en profundidades comparables de las otras estaciones del Golfo durante la misma estación. La razón de esta diferencia puede ser que la Estación 4 está situada en un pozo profundo (alrededor de 50 metros) en el angosto canal entre Puntarenas y la Isla de San Lucas (Figura 1). Es posible que el agua fría y salada que corre hacia la ensenada durante la estación lluviosa se acumule en la depresión de la Estación 4, reteniendo así más fácilmente sus características. Otra explicación posible es la de que el flujo hacia la cabeza del Golfo no siga el trayecto de las estaciones establecidas, sino que entre en el Golfo con la pleamar, la cual sigue la costa oriental.

No se han hecho estudios directos de la relación entre las oscilaciones de las mareas y el esquema de la circulación propuesto en el Golfo de Nicoya. Ciertamente, los movimientos más obvios del agua se relacionan con el movimiento de las mareas. Corrientes de marea con velocidades a 1 a $2\frac{1}{2}$ nudos ocurren a lo largo de la Península de Puntarenas, del pasaje entre Puntarenas y la Isla de San Lucas y cerca de las Islas Negritos. Aún durante la estación lluviosa, cuando el flujo neto hacia el mar alcanza su máximo, se ha observado que las aguas de superficie de todo el Golfo se desplazan hacia el norte durante la pleamar, en la dirección de la cabeza del Golfo.

El movimiento del agua en el Golfo puede ser considerado como compuesto por oscilaciones de marea que tienen su sistema característico de circulación, al cual se sobreimpone el sistema de flujo resultante del movimiento de agua dulce hacia el mar. Posiblemente, el efecto neto de estos dos componentes distintos de la circulación es el de que la tasa y duración de la corriente de la marea entrante están reducidas y la tasa y duración de la marea menguante aumentadas. Sin embargo, debido a la anchura y configuración del Golfo, las corrientes de marea pueden tener un régimen más complejo, pero no se han hecho observaciones directas sobre las corrientes.

Mezcla

Las principales fuerzas de mezcla que tienden a destruir la estratificación establecida por el drenaje de las aguas hacia el mar y la insolación son, probablemente, las mareas, el viento y la fricción desarrollados en el nivel de contacto entre el agua dulce que se desplaza hacia el mar y el agua salada debajo de ella.

El proceso de mezcla en el Golfo puede ser parcialmente inferido por la distribución de la salinidad en la superficie. La salinidad más baja en superficie registrada en la Estación 1, de 1952 a 1957, fue 15 ‰ (Tabla 1), de modo que a tiempo de esta particular observación el agua del río a cinco millas al sur de la desembocadura de éste se encontraba ya a me-

días mezclada con el agua de mar. En la Estación 1, la salinidad en superficie durante la estación lluviosa es, normalmente, de más o menos 23 ‰, indicando una mezcla aún mayor con el agua de mar. En la Estación 4, a una distancia de más o menos la mitad del camino hacia la parte baja del Golfo, la salinidad en superficie durante la estación lluviosa alcanza de 27 a 30 ‰ y en la Estación 8, cerca de la boca del Golfo, de 29 a 32 ‰. Por lo tanto, parece que la mayor parte de la mezcla se forma en las aguas poco profundas al norte de la Estación 4.

Los efectos de la marea sobre la distribución de la salinidad y temperatura en la Estación 5 durante el mes de agosto de 1953 están presentados en la Figura 19. El hecho de que las estructuras de la salinidad y temperatura observadas en un determinado estado de la marea reaparecieron en estados similares, indica que en los indicados lugar y tiempo la mezcla vertical fué muy pequeña o inexistente. Los cambios observados probablemente representan los efectos del movimiento del agua hacia afuera y adentro de la ensenada en el curso de un ciclo de mareas.

Se desconoce la eficiencia de la marea como agente de mezcla en otras partes del Golfo y en otras épocas del año. Pero, sin duda alguna, mezcla debida a las mareas ocurre en el estrecho pasaje entre Puntarenas y la Isla de San Lucas y en el área situada inmediatamente al este de las Islas Negritos en donde se han observado fuertes remolinos de marea.

Es posible que el viento tenga cierta importancia en la mezcla de las aguas del Golfo. Durante la estación lluviosa, cuando hay fuerte estratificación, los vientos normalmente soplan del sudoeste, con una velocidad media de unos 2 a 2½ m.p.h. Sin embargo, los temporales de lluvia están acompañados a veces por vientos borrascosos que alcanzan hasta 10 o 15 m.p.h., pero raras veces duran más de una o dos horas. Estos vientos de la estación lluviosa probablemente tienen poca influencia sobre la mezcla de las aguas del Golfo. En la parte inicial de la estación seca, en cambio, a medida que disminuye el drenaje de las aguas, vientos muy fuertes (hasta 35 y 40 m.p.h.) soplan del noreste por períodos de medio día hasta cuatro o cinco días. Estos vientos, que ocurren más frecuentemente en diciembre, enero y febrero, son sin duda muy efectivos en la mezcla de las aguas del Golfo hasta profundidades considerables destruyendo por lo tanto la estratificación que prevalece durante la estación lluviosa.

Se ha pensado que estos fuertes vientos del norte son ampliamente responsables por la gran reducción de la estratificación en las aguas del Golfo desde diciembre hasta febrero, en cuanto a salinidad, temperatura y oxígeno (página 199). Parece poco probable que las mareas sean la causa de este fenómeno, ya que la mezcla debida a las mareas constituye un proceso relativamente invariable, mientras que el estado de insignificante estratificación ya mencionado aparentemente ocurre sólo en los comienzos de la estación seca.

Además del aspecto puramente mecánico de la mezcla debido al viento, también debe tenerse en cuenta el efecto del viento sobre la evaporación. Como se indicará más adelante (página 210), la evaporación tiene un máximo (en promedio unos 12 cm./mes) durante el periodo de diciembre a marzo, coincidiendo con el tiempo de los fuertes vientos del norte y la humedad relativamente baja. Como el efecto de la evaporación es el de enfriar y aumentar la salinidad de la capa superficial, es posible que se produzca un revuelco de las aguas, especialmente durante la noche cuando bajan las temperaturas del aire.

Analicemos el siguiente esquema estacional idealizado de la circulación y mezcla en el Golfo: Con la llegada de la estación lluviosa, la cabeza del Golfo recibe las descargas de los ríos y ésto forma una corriente de superficie hacia el mar. En la mitad norteaña poco profunda del Golfo, el viento, las mareas y la fricción de la corriente contribuyen a la mezcla del agua dulce con el agua salada de abajo. Como el agua salobre que así se forma corre por encima de aguas más profundas del Golfo al sur de la Estación 5, la fricción de la corriente produce un movimiento de agua profunda y salada a través de la haloclina. El agua que se desplaza es sustituida por medio del movimiento hacia la cabeza del Golfo de aguas de niveles más profundos. El monto del drenaje fluctúa con las lluvias y, por ello, la estructura de la salinidad del Golfo varía considerablemente durante la estación lluviosa.

Al cesar la lluvia el drenaje disminuye rápidamente y los procesos de mezcla parcialmente destruyen la estratificación. Entre fines de diciembre y marzo, fuertes vientos del norte soplan a lo largo del Golfo removiendo las aguas hasta profundidades considerables. También la evaporación, asociada con estos vientos secos, produce revuelco, de modo que las aguas del Golfo muestran poca estratificación hasta profundidades de 30 a 40 metros. Con el cese de los vientos del norte aproximadamente a mediados de la estación seca, el Golfo se vuelve otra vez ligeramente estratificado. Hacia fines de mayo o junio, las fuertes lluvias restablecen la notable estratificación característica de la estación lluviosa.

Clasificación como un estuario

Pritchard (1952) destaca que, dadas las complejidades de los procesos de la línea costera, no existe un acuerdo definitivo con respecto a la definición exacta de lo que constituye un estuario. Sin embargo, para los propósitos de este estudio, el Golfo de Nicoya se considera un estuario de acuerdo con la definición de Ketchum (1951): "Un estuario puede ser definido como un cuerpo de agua en el cual el agua de río se mezcla con el agua de mar y la diluye mesurablemente". Pero Pritchard (1952) destacó que la definición propuesta por Ketchum es demasiado amplia dado que incluiría también la costa abierta a lo largo de la cual se produce una dilución medible de agua de mar por el drenaje de aguas terrestres. Para eliminar esta dificultad, Pritchard sugiere que una definición

de un estuario debería incluir también la calificación de que se trata de un cuerpo semicerrado de agua costera. El Golfo de Nicoya llena las exigencias de esta última definición.

En cuanto al drenaje de agua dulce y evaporación, el Golfo de Nicoya sin duda es un estuario positivo aproximadamente desde mayo a diciembre; esto es, el drenaje más la precipitación exceden la evaporación (Figura 20). Sin embargo, desde enero hasta abril cuando no hay precipitación (o solamente vestigios) y la descarga de los ríos es muy baja, pueden existir periodos en que el Golfo es de un tipo negativo; es decir, la evaporación excede el total del agua dulce aportada. Por ejemplo, durante el mes de febrero de 1955, cuando la evaporación calculada fué de aproximadamente 18 cm., hubo solamente vestigios de precipitación y la descarga del Río Tempisque aportó al Golfo sólo unos 4.5 cm. de agua dulce. En vista de la extensión del área de drenaje, parece poco probable que los demás cursos de agua dulce puedan exceder la diferencia entre 18 cm. y 4.5 cm.; es decir, 13.5 cm.

Stommel y Farmer (1952) sobre la base de la estructura salina han sugerido una clasificación hidrodinámica de los estuarios. Debido a las amplias variaciones estacionales que existen en el Golfo de Nicoya, ninguno de estos tipos de clasificación parece adecuado por sí solo. Durante la estación lluviosa, el Golfo es un estuario altamente estratificado (Tipo 3, según Stommel y Farmer, 1952), mientras que en la estación seca puede estar mezclado verticalmente o ligeramente estratificado.

RELACION DEL GOLFO DE NICOYA CON LAS AGUAS DE MAR AFUERA

Dadas las limitaciones del barco de investigación y equipo utilizado en este estudio, no se hicieron observaciones en las aguas costeras fuera del Golfo de Nicoya. Sin embargo, se recolectaron datos oceanográficos en varias expediciones en el área situada frente a la costa occidental de Costa Rica, especialmente en la región del Domo Térmico de Costa Rica. Los datos de dos de estas expediciones se incluyen en el siguiente capítulo:

La anomalía de 1954

En los comienzos de 1954, la estructura térmica del Golfo difirió en forma notable de la descrita en la página 199 como típica de la estación seca. La extensión de esta diferencia se indica mediante una comparación de la Figura 15 (que muestra la distribución típica de la temperatura en la estación seca) con la Figura 21A (que presenta la estructura térmica en febrero de 1954 cuando la anomalía fué más pronunciada). Dos hechos importantes están indicados, a saber: 1) En febrero de 1954 la estructura térmica se caracterizó por una intensa estratificación debajo de los 10 metros, mientras que en condiciones típicas de la estación

seca la temperatura presenta un gradiente muy pequeño encima de los 35 metros. 2) En febrero de 1954 hubo, en todo el Golfo, aguas desusadamente frías debajo de los 15 metros. Por ejemplo, a profundidades de 45 metros la temperatura fué de 4° a 5° C más baja que en cualquier otro tiempo del periodo 1952 a 1957. La comparación de la Figura 7 con las Figuras 5, 6, 8, 9 y 10 ilustra el efecto notable de esta agua desusadamente fría sobre la estructura térmica de la Estación 4. Normalmente, durante la estación seca, la temperatura entre superficie y fondo acusa de 27° a 29° C en dicha estación, pero durante el mes de febrero de 1954 se registraron temperaturas tan bajas como 18°C.

La presencia de tal agua fría podría atribuirse al afloramiento o bien a un cambio marcado en la estructura térmica de las aguas costeras adyacentes. El afloramiento no parece ser la causa, dadas las altas temperaturas observadas en la superficie y la fuerte termoclina que no son características de un área de afloramiento.

Se ha pensado que el agua desusadamente fría existente en el Golfo en la primera parte del año 1954 puede haberse originado en un desplazamiento o una extensión del Domo Térmico de Costa Rica hacia la costa. Tales movimientos del domo fueron tratados por Cromwell (1958). Las Figuras 1a a 1d, contenidas en la publicación de Cromwell, indican que en el curso de la primavera el domo se encuentra mucho más cerca de la costa que en el resto del año; y como el domo es un área en que la termoclina se encuentra desusadamente cerca de la superficie, un desplazamiento de esta estructura térmica hacia el este puede a veces influir fuertemente aún en las aguas costeras tales como las del Golfo de Nicoya.

La Figura 22 presenta la relación T-S en la Estación 8 durante febrero de los años 1953 a 1957. Para facilitar la comparación, también se hizo un gráfico de una curva T-S correspondiente a la estación ocupada sobre el domo (09°34.0'N., 89°13.5'W.) en noviembre de 1956, en el curso de la Expedición *Scope* de la Institución Scripps de Oceanografía. De nuevo, evidentemente se destaca el grado de la anomalía térmica del Golfo en el año 1954. La temperatura en las profundidades de 20 y 35 metros en la Estación 8 fué, en febrero de 1954, unos 7°-8°C inferior a la temperatura en las mismas profundidades durante las observaciones hechas en esta estación en febrero de todos los demás años (de 1953 a 1957) a los cuales se refiere este informe. Desgraciadamente, para febrero de 1954 no se dispone de observaciones de temperatura para profundidades mayores de 35 metros en la Estación 8.

Una comparación de la curva T-S de la estación de la *Scope* con la de la Estación 8 en febrero de 1954 nos indica que las curvas T-S de estas dos estaciones, sin ser idénticas, son bastante similares, especialmente a la profundidad de 20 metros y debajo de ella. Por cierto que son mucho más similares que la curva T-S de la Estación 8 en febrero de 1954, com-

parada con la de febrero de otros años. El agua más fría en los 10 metros superiores de la estación *Scope* se debe probablemente, en parte, al hecho de que las observaciones de la *Scope* fueron hechas en noviembre, mes de las temperaturas superficiales mínimas, mientras que las curvas T-S de la Estación 8 están basadas sobre observaciones hechas en su mayoría hacia fines de febrero cuando las temperaturas en la superficie del mar son más altas. El hecho de que el agua en los 10 ó 15 metros superiores en la Estación 8 fué menos salada durante febrero de 1954 que el agua de la profundidad equivalente en la estación de la *Scope* puede atribuirse al drenaje en el Golfo.

Hasta este punto, la discusión sobre la situación anómala en los comienzos de 1954 ha sido limitada a la temperatura, cuando en realidad varió también la estructura salina con respecto a la pauta normal de la estación seca, aunque no tan espectacularmente.

La Figura 21B presenta la estructura salina del Golfo en febrero de 1954. Aunque el desarrollo del gradiente de la salinidad no es desusado para la estación seca, la presencia debajo de los 20 metros de tales aguas saladas en esta época del año es ciertamente fuera de lo común. Así por ejemplo, las curvas T-S para la Estación 8 en la Figura 22 indican que la salinidad a los niveles de 20 y 35 metros en la Estación 8 fué, en febrero de 1954, aproximadamente 1.5 ‰ más elevada que la salinidad en las mismas profundidades en otros años.

Datos de *Eastropic* y Nicoya, 1955

Un caso interesante de la influencia del drenaje de las aguas del Golfo de Nicoya sobre las aguas costeras adyacentes está ilustrado en la Figura 23. Los datos están basados sobre observaciones hechas inmediatamente al sur del Golfo de Nicoya por la Expedición *Eastropic* en los comienzos de noviembre de 1955 y sobre observaciones hechas en el Golfo de Nicoya por el personal de la Comisión Interamericana del Atún Tropical, en el curso del mismo período, en las Estaciones 1, 4, 5, 7 y 8.

Los efectos del drenaje del Golfo pueden apreciarse hasta la Estación 40, a casi 60 millas hacia el sur de la boca del Golfo. Sin embargo, debe destacarse que estas observaciones fueron hechas pocos días después del mes más lluvioso registrado en esta área. Durante el mes de octubre de 1955, las precipitaciones fueron de 973 mm., más de tres veces el monto promedio de las precipitaciones del citado mes. Es posible que los efectos del drenaje del Golfo no lleguen normalmente a tal distancia mar afuera.

BALANCE DE CALOR DEL GOLFO

Para determinar si los cambios de temperatura observados en el Golfo podrían ser completamente explicados en términos del intercambio de calor con la atmósfera, se hizo un estudio sobre la relación entre los diversos términos de la ecuación del balance de calor y los cambios obser-

vados en el contenido de calor del Golfo. El mar puede ganar o perder calor mediante los procesos de intercambio de energía que se desarrollan en el límite entre el aire y el mar y mediante el transporte del calor hacia el área o fuera de ella por procesos advectivos.

El balance de calor de una determinada área del océano durante un cierto intervalo de tiempo puede expresarse así:

$$Q_s - Q_b - Q_e - Q_h + Q_v + Q_t = 0$$

en donde Q_s representa el monto total de la radiación solar directa y difusa, Q_b es la radiación efectiva devuelta, Q_e es la evaporación, Q_h es la conducción del calor sensible entre la atmósfera y el mar, Q_v es el monto neto del calor aportado o perdido por el transporte de agua, y Q_t representa el calor que calienta la columna de agua.

A través del análisis que sigue, los antes mencionados términos se expresan como calorías-gramos por centímetro cuadrado, por día.

Los datos

Los datos meteorológicos utilizados en este análisis se obtuvieron de una estación meteorológica de la Pan American Airways en Puntarenas, situada aproximadamente a mitad del largo de la costa oriental del Golfo de Nicoya. Las medias mensuales de la temperatura del aire, humedad relativa, nubosidad y velocidad del viento fueron determinadas sobre la base de cinco observaciones diarias, hechas entre las 1200 y las 2400 horas (Tabla 2).

Las temperaturas medias mensuales de la superficie del mar durante 1954 y 1955 fueron computadas de las lecturas hechas cada tres horas de los registros del termógrafo instalado en el muelle de Puntarenas. Las temperaturas de la superficie del mar durante 1953 fueron determinadas sobre la base de las lecturas del termómetro colocado en un balde con agua de mar, a intervalos de aproximadamente un mes, cada vez que se ocuparon las estaciones oceanográficas.

El cómputo del monto de calor utilizado localmente para cambiar la temperatura del agua de mar está basado sobre datos batitermográficos obtenidos en las Estaciones oceanográficas 4 y 8.

Radiación solar y celeste absorbida por el mar (Q_s)

La radiación procedente del sol es casi totalmente de onda corta; la superficie del mar la recibe en parte como radiación solar directa y, en parte, como radiación reflejada o dispersa por el firmamento.

Kimball (1928) publicó tablas del monto total de la radiación recibida en la superficie del mar con cielo claro en diferentes localidades, tablas que hasta el presente han sido utilizadas casi universalmente por los investigadores. La primera revisión de importancia de estos datos ha sido publicada por Budyko (1956). Las estimaciones de Budyko, utili-

zadas en el presente análisis del balance de calor del Golfo de Nicoya, se consideran superiores a las de Kimball, porque están basadas sobre datos recogidos en un intervalo de tiempo más largo.

Las estimaciones de Budyko de la radiación directa y difusa (Q_o) que recibe el Golfo de Nicoya (latitud 10°N.) se muestran en la Tabla 4. Para la corrección de la nubosidad y reflexión se utilizó la expresión propuesta por Budyko, a saber:

$$Q_s = Q_o \cdot r (1 - 0.66C)$$

donde Q_s es la radiación solar neta que llega a la superficie del mar, corregida por causa de la nubosidad y reflexión, Q_o es la radiación total recibida por día con cielo claro, r es el monto de la radiación reflejada por la superficie del mar (en este caso r se considera con un valor de 4%), y C es la nubosidad dada en décimos.

La importante influencia de la nubosidad resulta evidente al comparar la tasa de la radiación incidente (Tabla 4) con la de la radiación absorbida (Figura 24). Durante la estación lluviosa (de mayo a octubre), cuando en promedio 90% del cielo está nublado, sólo un 40% de la radiación incidente disponible alcanza la superficie del mar. El efecto de la cubierta de nubes resalta también de la comparación de los montos de radiación solar absorbida en marzo de 1954 y 1955 (Tabla 5). Durante el mes de marzo de 1954, cuando la nubosidad media fué unas tres veces mayor que en marzo de 1955, la energía solar absorbida fué un 25% menor que la de marzo de 1955.

Radiación efectiva devuelta (Q_b)

El mar está constantemente calentado hasta cierto grado por la radiación solar, pero también pierde calor continuamente por la radiación de onda larga desde su superficie. Parte de este calor devuelto es absorbido por la atmósfera y nuevamente irradiado a la superficie del mar que, a su vez, refleja una pequeña cantidad a la atmósfera. La radiación efectiva devuelta (Q_b) es la radiación de onda larga desde la superficie del mar menos la radiación desde la atmósfera. Budyko la expresa así:

$$Q_b = Q_{bo} (1 - 0.55 C^2) + K (T_{mar} - T_{aire})$$

en donde K es una constante dependiente de la temperatura y Q_{bo} (la radiación devuelta con cielo claro) es dependiente de la temperatura del mar y la humedad. Las tablas para K y Q_{bo} han sido dadas por Budyko.

La Figura 24 presenta las medias mensuales (1953-1955) de la radiación efectiva devuelta por el Golfo de Nicoya. Los valores mensuales de Q_b para el periodo 1953-1955 están indicados en la Tabla 5. El ciclo anual de Q_b es muy parecido al de la energía solar absorbida y representa aproximadamente un cuarto de esta última.

Evaporación (Q_e)

En este estudio, la evaporación en centímetros fué computada por medio de la ecuación de Jacobs (1951)

$$E = (0.011) (W) (e_w - e_a)$$

en la cual W es la velocidad del viento en metros por segundo, e_w es la presión del vapor en la superficie del mar en milibarias y e_a es la presión del vapor a la altura a en milibarias. Q_e el calor perdido por el mar debido a la evaporación, se determinó mediante la multiplicación de la evaporación en centímetros por un valor medio del calor de la evaporación (585 gr. cal./gram.).

Cabe destacar que la fórmula de evaporación de Jacobs está basada más bien en estudios sobre grandes extensiones oceánicas que sobre aguas semicerradas que están bajo la influencia de masas terrestres y, por ello, es posible que los datos de la evaporación presentados aquí para el Golfo de Nicoya no sean los adecuados. Otra fuente de error es la de que las observaciones meteorológicas del área de Nicoya aplicadas a la fórmula de Jacobs se refieren sólo al período entre las 1200 y las 2400 horas. Si las fluctuaciones diurnas en la velocidad del viento y la presión del vapor son muy grandes, las medias mensuales pueden acusar cierto error.

Las medias mensuales de Q_e para el período 1953-1955 han sido graficadas en la Figura 24. Los valores mensuales actuales para el mismo período aparecen en la Tabla 5. El ciclo anual promedio de los valores de Q_e es muy parecido al de los valores de Q_s ; vale decir, hay una pérdida máxima de calor debido a la evaporación durante la estación seca (diciembre a marzo) y una pérdida mínima de calor durante la estación lluviosa (mayo a noviembre). La amplitud anual de Q_e es aproximadamente de un 50% de la energía absorbida durante la estación seca y de 15% durante la estación lluviosa.

Durante la estación seca de 1954, la tasa de evaporación fué mucho menor que durante los mismos meses de 1953 y 1955. Esta diferencia es probablemente el resultado de las diferencias en la velocidad del viento. Así por ejemplo, durante los primeros cuatro meses de 1954 cuando la velocidad media del viento (1.65 metros/seg.) fué aproximadamente la mitad de la que existió durante el curso de los mismos meses en 1955, la tasa media de evaporación (140 gr. cal./cm.²/día) para 1954 fué sólo aproximadamente la mitad de la de 1955.

En algunos años, como resultado de las velocidades más altas del viento, la tasa de evaporación puede ser mucho más alta que la indicada por los datos correspondientes al período 1953-1955. Así por ejemplo, durante el período de tres años de 1948 a 1950, la velocidad media del viento fué de 8.2 nudos en los tres primeros meses del año, en compara-

ción con 4.8 nudos durante el mismo período de tres meses de los tres años incluidos en el presente estudio.

Conducción de calor sensible hacia la atmósfera (Q_h)

La Razón de Bowen (Bowen, 1926) es comúnmente aplicada al computar la tasa de conducción. Bowen demostró que la razón R de la pérdida de calor por conducción con respecto a la pérdida por evaporación puede computarse de

$$R = 0.66 \frac{T_s - T_a}{e_w - e_a}$$

en donde T_s es la temperatura del mar en la superficie y T_a es la temperatura del aire.

De este modo,

$$Q_h = 0.66 \frac{T_s - T_a}{e_w - e_a} Q_e$$

Los valores Q_h para el Golfo de Nicoya en el período 1953-1955 aparecen en la Tabla 5. Aparentemente, la pérdida a favor de la atmósfera a través de la conducción del calor sensible es de pequeña consecuencia, lo que no sorprende si se tiene en cuenta el hecho de que las temperaturas superficiales del mar y del aire son casi idénticas en el Golfo.

En el período de tres años considerado en este estudio no se pone de manifiesto un régimen estacional en la conducción que se opera en el Golfo, aunque sí hay tal régimen en la evaporación. La tasa de conducción en el período 1953-1955 fué menor en 3% que la tasa de evaporación.

En algunos meses se registraron valores negativos, lo que indica que el calor se transmitió de la atmósfera al mar.

Transferencia total de calor a través del límite aire-mar

Los valores mensuales de la transferencia total de calor a través del límite aire-mar (es decir, la suma aritmética de la radiación solar, la devolución efectiva de la radiación, la evaporación y la conducción de calor sensible) para el período 1953-1955, están presentados en la Tabla 5. Con dos excepciones menores, estos valores son positivos indicando que el mar gana constantemente más calor de la atmósfera que el que está perdiendo a favor de ella. Esta ganancia constante de calor por el mar requiere la asistencia de procesos advectivos de cierto tipo para mantener el balance de calor en el Golfo de Nicoya.

Los valores mensuales medios (correspondientes a 1953-1955) de la transferencia total de calor alcanzan su máximo en la estación lluviosa y su minimum en la estación seca. Este régimen se destaca especialmente en 1953 y en 1955. Sin embargo, los valores correspondientes a 1954 se presentan muy diferentes con respecto a los de los otros dos años, lo que se debió ampliamente a una baja tasa de la evaporación asociada a la baja velocidad del viento durante el período febrero-abril de 1954. Sobre

la base de los datos referentes al viento de otros años para esta misma área, la baja tasa de evaporación ocurrida en la primera parte de 1954 y el consecuente régimen estacional de toda la transferencia de calor de este año se consideran anómalos.

Los procesos de intercambio de energía que intervienen en la ecuación del calor varían en amplitud, pero tienen aproximadamente el mismo régimen estacional excepto la conducción del calor sensible, la cual es relativamente insignificante (Figura 24). La radiación solar absorbida, la radiación efectiva devuelta y la evaporación, todas tienen un máximo en la estación seca y un minimum en la estación lluviosa. De las dos causas de pérdida de calor a favor de la atmósfera, la evaporación es la más importante durante los meses secos y ventosos, mientras que la radiación que se devuelve a la atmósfera sobresalear más en el curso de la estación lluviosa. Esta variación estacional de la transferencia total de calor es controlada, por lo tanto, por una ganancia de calor de la radiación solar absorbida y por las pérdidas de calor por evaporación y devolución de la radiación.

Advección (Q_r)

Una vez computada la tasa de ingreso de calor al mar debido a los procesos de intercambio de energía, se abre la posibilidad de determinar la tasa de la advección al conocerse la tasa del cambio del contenido de calor del mar. Este último dato puede calcularse mediante la fórmula

$$Q_r = c_p \rho \sum_0^z \frac{\Delta T}{\Delta t} \Delta z$$

en donde c_p es el calor específico del agua de mar a una presión constante, ρ es la densidad media del agua de mar, ΔT es la diferencia en la temperatura media de la columna de agua al comienzo y al final de un determinado intervalo de tiempo (Δt) expresado en días y Δz es la profundidad de la columna de agua expresada en centímetros.

La Figura 25 muestra la tasa de la advección (la diferencia entre la transferencia total de calor a través del límite aire-mar y Q_i , el monto del calor utilizado localmente para calentar el agua de mar) en las Estaciones 4 y 8 durante los periodos entre las observaciones hechas en dichas estaciones. Con excepciones menores, los valores de la advección son siempre negativos, indicando una pérdida casi continua de calor que experimenta el Golfo por este proceso. Se observará que durante 1953 y 1955 la pérdida de calor por advección tuvo un máximo en la estación lluviosa y un minimum en la estación seca. La situación en 1954 se presentó muy distinta. Durante la parte inicial de ese año, hubo una fuerte advección de calor hacia afuera del Golfo, con la invasión de agua fría recibida por él. Sin embargo, como se indicó en la página 205, resulta desusada la presencia de agua tan fría en el Golfo en aquella época del año.

Si los datos de advección correspondientes a 1953 y 1955 se consideran como indicadores del ciclo normal anual, surge la pregunta: ¿cuál o cuáles procesos advectivos son responsables por la pérdida máxima de calor en el Golfo durante la estación lluviosa?

Una explicación satisfactoria de esta pérdida de calor se encuentra en el esquema de la circulación propuesto anteriormente (página 204). Con un exceso de la precipitación sobre la evaporación debe existir aquí una corriente hacia el mar de agua cálida y salobre, la cual es reemplazada por agua más fría y salada procedente de mar afuera y de abajo.

Otra causa de la pérdida de calor durante la estación lluviosa puede ser el agua fría de río que se vierte en el Golfo. Pero el grado de tal enfriamiento es probablemente muy pequeño teniéndose en cuenta el hecho de que las temperaturas del agua de río considéranse aproximadamente iguales a las de las aguas de la superficie del Golfo (página 201).

APENDICE

Relación de la hidrografía con la anchoveta

Hasta 1947, el Golfo de Nicoya mantuvo una gran población de anchovetas (*Cetengraulis mysticetus*) especie importante utilizada como carnada por los pescadores atuneros. La población mermó abruptamente en el verano y otoño de 1947, coincidiendo la merma con un fenómeno de "aguas rojizas" (probablemente *Gymnodinium* sp.) fuertemente desarrollado. Sólo pequeñas cantidades de anchovetas fueron capturadas en 1948 y 1949 y desde 1950 cesó en el Golfo la pesca de esta especie (Peterson, 1956).

Resulta imposible probar o no que las "aguas rojizas" fueron responsables de la disminución catastrófica de la población de anchovetas en el Golfo, dado que la presunta presencia del indicado fenómeno en 1947 está basada sólo en informes verbales y no hay seguridad de que las "aguas rojizas" tengan invariablemente efecto adverso sobre los peces (Brongersma-Sanders, 1957).

Como se sabe que las variaciones excesivas en la salinidad y la temperatura eliminan poblaciones de organismos marinos en estuarios, puede admitirse la hipótesis de que tales variaciones fueron responsables por la merma brusca de las anchovetas en el Golfo de Nicoya.

Los cambios estacionales de la temperatura en las aguas poco profundas del Golfo, previamente pobladas por anchovetas, raras veces pasan de 3° a 4°C. Aún durante los períodos de anomalía térmica que prevalecieron en el Golfo en 1954 (página 205), la temperatura de los 10 ó 15 metros superiores de agua fué similar a la de otras estaciones secas (aproximadamente 27°C).

Los cambios bruscos de las temperaturas del agua durante varias horas o días pueden influir en forma adversa en los organismos marinos más que los cambios estacionales graduales. Los cambios más abruptos de la temperatura suelen ocurrir en el Golfo al comienzo de un período con fuertes vientos del norte (véase página 199), pero tales cambios raras veces exceden de 2° a 3°C. Aparentemente, la anchoveta sobrevive con éxito mayores y más bruscos cambios en los tanques de los barcos atuneros que viajan desde las áreas de pesca de carnada a los lugares de pesca.

Como se indica en la Figura 2, las variaciones estacionales en la salinidad de la superficie del Golfo de Nicoya oscilan entre un 15 ‰ a un 20 ‰ en la zona de la cabeza del Golfo durante la estación lluviosa y un 34.5 ‰ en la estación seca. Al tener en cuenta la salinidad de las aguas mar afuera (máximo alrededor de 34.8 ‰) y el intercambio libre entre las aguas del Golfo y el mar, parece improbable que la salinidad anormalmente alta pudiera haber sido la causa de la desaparición de la anchoveta. Aunque 1946-1948 fué un período de precipitaciones inferiores a lo normal (Tabla 3), éstas no fueron mucho más bajas que en años anteriores cuando la población de anchovetas fué abundante. El hecho de que las precipitaciones en el área del Golfo durante 1946 y 1948 fuesen inferiores a lo normal excluye también la posibilidad de un exterminio de la población de anchoveta por condiciones anormales de baja salinidad.

LITERATURE CITED — BIBLIOGRAFIA CITADA

Bowen, I. S.

- 1956 The ratio of heat losses by conduction and by evaporation from any water surface.
Phys. Rev., Vol. 27, pp. 779-787.

Brongersma-Sanders M.

- 1957 Mass mortality in the sea.
Geol. Soc. America, Memoir 67, Vol. 1, pp. 941-1010.

Budyko, M. I.

- 1956 Heat balance of the earth surface. (In Russian).
GIMIZ, Leningrad, 256 pp.

Cromwell, T.

- 1958 Thermocline topography, horizontal currents and "ridging" in the Eastern Tropical Pacific.
Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull., Vol. 3, No. 3,
pp. 133-152 (English), pp. 153-164 (Spanish).

Jacobs, Woodrow C.

- 1951 The energy exchange between sea and atmosphere and some of its consequences.
Scripps Inst. Oceanogr., Bull., Vol. 6, No. 2, pp. 27-122.

Ketchum, B. H.

- 1951 The exchange of fresh and salt water in tidal estuaries.
Jour. Mar. Res., Vol. 10, No. 1, pp. 18-38.

Kimball, H. H.

- 1928 Amount of solar radiation that reaches the earth on the land and on the sea, and methods by which it is measured.
Mon. Weather Rev., Vol. 56, pp. 393-399.

Peterson, C. L.

- 1956 Observations on the taxonomy, biology, and ecology of the engraulid and clupeid fishes in the Gulf of Nicoya, Costa Rica.
Inter-Amer. Trop. Tuna Comm., Bull., Vol. 1, No. 5, pp. 137-212 (English), pp. 213-280 (Spanish).

Pritchard, D. W.

- 1952 Advances in geophysics.
Vol. 1, Academic Press Inc., New York, N. Y., pp. 243-280.

Stommel, Henry, and H. G. Farmer

- 1952 On the nature of estuarine circulation. Part III (Chap. 7).
Woods Hole Oceanog. Inst. Tech. Rep., Ref. No. 52-63.

United States Coast and Geodetic Survey

- 1954 Density of sea water at tide stations, Pacific Coast North and South America and Pacific Ocean Islands.
Spec. Pub. No. 281, fourth edit., pp. 1-37.
- 1956 Surface water temperature at tide stations, Pacific Coast North and South America and Pacific Ocean Islands.
Spec. Pub. No. 280, fifth edit., pp. 1-59.

United States Navy Department

- 1948 Weather summary, Central America.
Hydrogr., Office, H. O. Publ. No. 531, pp. 1-166.
- 1951 Sailing directions for the west coast of Mexico and Central America.
Hydrogr. Office, H. O. Publ. No. 84, ninth edit., pp. 1-308.

Watts, J. C. D.

- 1958 The hydrology of a tropical West African Estuary.
Bull. de I. F. A. N., Vol. 20, No. 3, pp. 697-752.